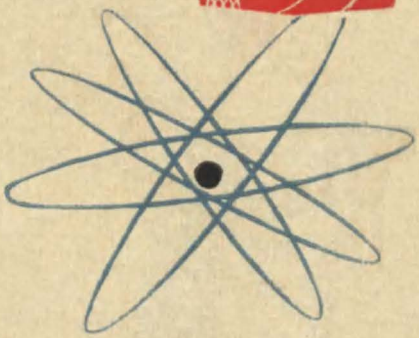
ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА



# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

*Выпуск 549*

Л. В. КУБАРКИН и Е. А. ЛЕВИТИН

# ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ РАДИОТЕХНИКА

*Издание третье, переработанное и дополненное*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

Scan AAW

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
**Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Гениште Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.**

УДК 621. 37/39
К88

«Занимательная радиотехника» представляет собой сборник очерков из самых различных областей радиотехники и радиоэлектроники, в занимательной форме иллюстрирующих физическую сущность процессов в различной радиоаппаратуре и взаимосвязь радиотехники и радиоэлектроники с другими областями науки и техники.

Книга предназначена для радиолюбителей, интересующихся современным состоянием радиотехники и радиоэлектроники. Подобно другим книгам этого жанра она ставит своей задачей пробудить у читателя вкус к изучению науки и техники, способствовать развитию у него технического и научного мышления.

«Занимательная радиотехника» рассчитана на широкие круги читателей, интересующихся радиотехникой и физикой и обладающих знаниями в объеме средней школы.

*Кубаркин Леонтий Владимирович и Левитин Ефим Алексеевич*
**«Занимательная радиотехника».** Изд. 3-е, перераб. и дополненное.

Издательство «Энергия», 1964.
280 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 549).
Рисунки художников *В. П. Стрельникова и К. А. Павлинова*
Редактор *В. А. Бурлянд* Техн. редактор *В. И. Сологубов*

Сдано в набор 23/IV-64 г. Подписано к печати 29/VIII-64 г. Т-09088. Бумага 84×108$^{1}/_{32}$. Печ. л. 14,35. Уч.-изд. л. 14,45. Тираж 150 000. Цена 73 коп. Зак. 1027.

Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати, Гатчинская, 26.

# СОДЕРЖАНИЕ


От авторов . . . . . 5
Предисловие к третьему изданию . . . . . 7
Коротко об электроне . . 9
Из чего состоят все тела 16
Один грамм электронов . 21
Что такое вакуум? . . . . 24
Сколько же молекул воздуха остается в лампе? 26
Скорость движения электронов . . . . . 27
Четыре вида электрического тока . . . . . 34
В какую сторону течет электрический ток . . . 39
Что такое отрицательное сопротивление . . . . . 41
Преобразование энергии в радиоаппаратуре . . . 45
Почему перегорает нить накала . . . . . 49
Предохранители перегорают при включении . . . 51
Где скрыто сопротивление электронной лампы . . 53
Почему лампа усиливает 56
Почему греются аноды . . 58
Что дает чернение анодов 61
Голубое свечение электродов . . . . . 62
Куда деваются электроны? . . . . . 64
Длина звуковых волн . . 66
Длина волны и частота . . 68
Цифры комариного писка 71
Летучая мышь — живой локатор . . . . . 72
Безвестные пионеры . . . 77
Растения реагируют на звук . . . . . 85
Почему мы понимаем друг друга . . . . . 87
Здрафтвуйте, Седор Феменович . . . . . 90
$^1/_{16}$ секунды . . . . . 92
Почему работает электродинамический громкоговоритель. . . . . 93
От чего зависит мощность громкоговорителя . . . 96
Почему в комнате слышно громче, чем на открытом воздухе . . . . . 98
Это не мой голос . . . . 101
Радиоприемник и глаз . . 102
Усиление в 15 млрд. раз 104
Хватит ли у человека силы питать радиоприемник 105
Мощность приемника и площадь комнаты . . . 108
Почему прикосновение к сетке вызывает гудение 109
1 000 *в* в антенне . . . . 111
Заземление в цветочном горшке . . . . . 114
Необычные источники тока. . . . . 116
Опять длинные волны . . 119
Два «окна прозрачности» 123
Почему атмосфера поглощает радиоволны . . . 126
Рабочий день импульсного передатчика . . . . . 127
Полоса частот . . . . . 128
Провод из непроводника 132
Металлический изолятор 134
Нагрев в холодной спирали . . . . . 136
Как разогреть котлету . 138
Застывшие заряды . . . . 142

Тысячи километров по экрану телевизора . . . . 149
Светящееся пятно на экране телевизора . . . . . 152
Ладонь на расстоянии вытянутой руки . . . . . 156
16, 24 и 25 кадров в секунду . . . . . 158
$^1/_4$ копейки в год . . . . 160
Показатели совершенствования телевизоров . . . 163
Фотоснимок с экрана телевизора . . . . . 170
Самолет создает замирания . . . . . 174
Телевизионные передачи на магнитной ленте . . 176
Широкоэкранное телевидение . . . . . 180
Как обстоит дело с цветом 184
Быстрее света . . . . . 190
Невидимое становится видимым . . . . . 192
Раскрытая тайна . . . . . 194
Тайна кристаллического детектора . . . . . 198
Конкуренты электронной лампы . . . . . 201
Почему усиливает транзистор . . . . . 206
Еще один конкурент . . . 208
Параметрические усилители . . . . . 211
Молекула конкурирует с радиолампой . . . . . 214
Парамагнитные усилители . . . . . 218
Усилители с использованием эффекта Холла . 220
Оптическая связь . . . . . 222
Кристалл стреляет светом 226
Первая вылазка лазера в космос . . . . . 234
Девять девяток или «ОЧ» 235
От колебательного контура к атому . . . . . 239
Квантовая акустика . . . 241
Биологическая радиосвязь 244
Бионика . . . . . 247
Говорит межзвездный водород . . . . . 253
Связь на волнах тяготения . . . . . 256
Наука без названия . . . 261
Сердце управляется по радио . . . . . 264
Пока — фантастика . . . 266
А знаете ли вы, что. . . . 270

# ОТ АВТОРОВ

«Занимательная радиотехника» не преследует цели систематического изложения основ радиотехники и не призвана подменить собой учебники. Она подобно другим книгам этого жанра, введенного в литературу Я. И. Перельманом, ставит своей основной задачей пробудить у читателя вкус к изучению науки и техники, способствовать развитию у него технического и научного мышления, привить навыки уяснения физической сущности явлений.

В «Занимательной радиотехнике» рассматриваются отдельные узловые вопросы радиотехники и связанных с нею областей электротехники и физики, а их сущность, значение и смысл раскрываются на примерах, по возможности тесно связанных с практикой и поэтому легче усваиваемых и запоминающихся.

Для лучшего раскрытия физической сути этих вопросов и придания изложению большей занимательности они зачастую рассматриваются под не совсем обычным углом зрения. Это часто облегчает понимание явлений, способствует укреплению и расширению имеющихся у читателя знаний о взаимосвязи областей науки и техники, что является одной из обязательных основ политехнического обучения.

В число рассматриваемых вопросов включено много таких, которые издавна привлекали к себе внимание радиолюбителей, но не всегда получали достаточно всестороннее освещение в печати.

В текст книги введены многочисленные примеры как из радиотехники, так и из других областей знаний, причем примеры эти подобраны так, что связанные с ними подсчеты и числовые сопоставления дают интересные и подчас неожиданные результаты.

Основным затруднением, с которым авторы постоянно сталкивались и которое им не удалось сколько-нибудь полно

преодолеть, является известный разнобой в степени трудности рассматриваемых вопросов. Но все же, как правило, подбор материала производился с ориентировкой на широкие круги радиолюбителей, интересующихся физическими основами радиотехники. Известная часть материала, возможно, будет интересна не только радиолюбителям, но и студентам радиотехнических вузов и техникумов, а также радиоспециалистам.

Авторы будут признательны читателям за все отзывы о книге, подборе материала, форме изложения и пр. Отзывы следует направлять в адрес редакции: Москва Ж-114, Шлюзовая наб., 10, Издательство «Энергия», Редакция Массовой радиобиблиотеки.

## *ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ*

Третье издание «Занимательной радиотехники» выходит в то время, когда на выпуск этого рода литературы обращено особое внимание. Н. С. Хрущев в заключительном слове на декабрьском Пленуме ЦК КПСС подчеркнул исключительно большое значение широкой популяризации научных и технических знаний. В конце февраля 1964 г. состоялось заседание идеологической комиссии при ЦК КПСС, специально посвященное научно-популярной литературе, на котором была особо отмечена весьма большая роль этой литературы, необходимость улучшения ее качества.

В нашем народе всегда велика была тяга к научно-техническим знаниям. Но никогда в прошлом стремление к знаниям не проявлялось так ярко, как в наши дни. Никогда еще не было, чтобы столь широкие массы населения так жадно стремились узнать о том, что делается на переднем крае науки и техники.

Нет сомнения в том, что в огромном и сложном комплексе современных знаний радиоэлектроника занимает особое место. В какой бы области науки и техники ни работал человек или какой бы областью он ни интересовался, он всегда будет вынужден столкнуться с радиоэлектроникой, ее великими достижениями, обусловливающими прогресс любых других областей знания и зачастую определяющими пути их дальнейшего развития.

Внимание, которое уделяется теперь пропаганде и популяризации научно-технических знаний, все возрастающая роль радиоэлектроники, небывалое расширение фронта исследовательских работ и определили содержание нового издания «Занимательной радиотехники». В ней оставлен, дополнен и приведен в соответствие с последними данными материал, относящийся к физическим основам радиоэлек-

троники, и широко развита часть, относящаяся к ее новейшим достижениям.

Общий характер изложения и уровень преподносимого материала оставлены такими же, как и в двух первых изданиях, так как большинство читателей, как можно судить по письмам, одобрило их. Большое внимание уделено подбору занимательных примеров, иллюстрирующих описываемые явления.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ В КНИГЕ СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|---|---|
| *м* | — метр |
| *км* | — километр |
| *см* | — сантиметр |
| $см^2$ | — квадратный сантиметр |
| $см^3$ | — кубический сантиметр |
| *мм* | — миллиметр |
| $м^2$ | — квадратный метр |
| $м^3$ | — кубический метр |
| *а* | — ампер |
| *ма* | — миллиампер |
| *а·ч* | — ампер-час |
| *в* | — вольт |
| *мв* | — милливольт |
| *мкв* | — микровольт |
| *вт* | — ватт |
| *квт* | — киловатт |
| *мвт* | — милливатт |
| *мквт* | — микроватт |
| *гц* | — герц |
| *кгц* | — килогерц |
| *Мгц* | — мегагерц |
| *сек* | — секунда |
| *мсек* | — миллисекунда |
| *мксек* | — микросекунда |
| *мин* | — минута |
| *ч* | — час |
| тыс. | — тысяча |
| млн. | — миллион |
| млрд. | — миллиард |
| *кал* | — калория |
| *ккал* | — килокалория |
| *км/сек* | — километр в секунду |
| *м/сек* | — метр в секунду |
| *см/сек* | — сантиметр в секунду |
| *ком* | — килоом |
| *Мом* | — мегом |
| *ф* | — фарада |
| *пф* | — пикофарада |
| *дб* | — децибел |
| *к* | — кулон |
| к.п.д. | — коэффициент полезного действия |
| УКВ | — ультракороткие волны |
| °С | — градус Цельсия |
| *г* | — грамм |
| *кг* | — килограмм |
| *мг* | — миллиграмм |
| *мкг* | — микрограмм |
| *т* | — тонна |

Многие из современных приборов и устройств имеют в своем названии слово электронный: электронная лампа, электронное телевидение, электронный микроскоп, электронное реле. Примеров можно привести множество. Особенно часто слово электронный связывается с радиотехническими терминами. И даже само название радиотехника все чаще заменяют другим — радиоэлектроника.

Чем же это объясняется?

Мы знаем, что электроны являются важнейшей составной частью вещества. Если бы название «электронный» присваивалось на этом основании, то без него оставалось бы не так-то много слов.

Не может ли иметь значение то, что все электронные устройства, приборы и системы являются по сути дела электрическими, а электрический ток представляет собой упорядоченное перемещение электронов? Нет! Ответ может быть только отрицательным. Никому не придет в голову назвать электрический утюг или электровоз электронным, хотя не подлежит сомнению, что в основе их работы лежат электронные процессы.

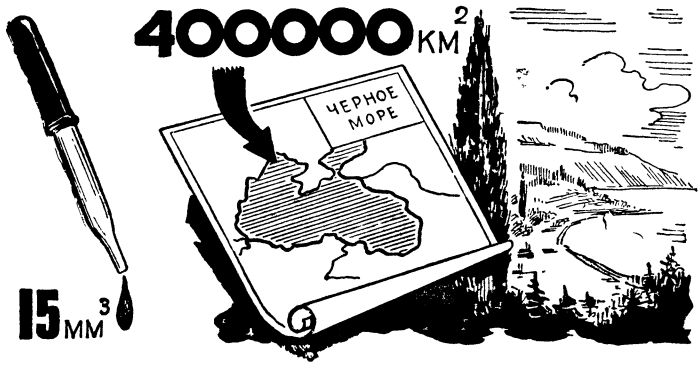
Термин «электронный» в современной науке и технике применяют по отношению к тем приборам и устройствам, которые являются электрическими и в основу которых положено сложное управление электрическими зарядами. Оно весьма значительно отличается от управления движением зарядов в проводниках и обладает многими важными особенностями.

Что же мы знаем об электроне?

Мы привыкли читать и говорить, что молекула мала, но мы никогда не представляем себе, насколько она в действительности потрясающе мала. У нас нет для этого масштабов. Молекула — это не кирпич в сравнении с огромным зданием и даже не пылинка, сопоставленная с величайшим небоскребом. Это «еще гораздо меньше».

Возьмем каплю воды. Капля — практически наименьшая мера жидкости, которой мы пользуемся в обиходе. Считать на капли нам приходится разве только при отмеривании лекарств. Но в капле воды заключено невообразимо большое количество молекул.

На благодатном юге нашей Родины раскинулось теплое Черное море. Его площадь равна примерно 400 000 $км^2$, а глубина в среднем достигает 750 *м*.




Много ли капель в Черном море?

Конечно, подобный вопрос кого угодно поставит в тупик. Не скоро сообразишь, сколько капель, скажем, в стакане воды, а тут целое море! Больше чем 1 000 *км* отделяет его восточные берега от западных. Неоглядные дали, покрытые водой.

Не будем пытаться угадать, сколько капель в Черном море. Возьмем карандаш и бумагу и попробуем найти интересующее нас число. Примем, что объем капли воды равен 15 $мм^3$. Тогда, исходя из площади поверхности моря и его глубины, найдем, что в нем содержится что-то около $2 \cdot 10^{22}$ капель воды.

Это число огромно. Оно послужит нам для перевода одного масштаба в другой, потому что в одной капле воды содержится примерно столько же молекул, сколько капель в Черном море. Закройте глаза и представьте себе бесконечное множество капель, из которых оно состоит. Столько же молекул в одной капле. Как же мала должна быть эта

самая молекула, чтобы в маленький объем капли воды их вместилось такое баснословно большое количество.

Этот пример поможет, пусть с трудом, но все же представить себе, сколь ничтожны размеры молекулы и как непомерно много молекул даже в невидимой пылинке.

И в то же время молекула далеко не «самое маленькое». В ультрамикроскопическом мире тех «кирпичиков», из которых построен мир, молекула может считаться гигантом. Ее структура сложна, часто даже очень сложна. Молекула сама состоит из более простых образований — атомов.

Вот булавочная головка. Мы часто приводим ее в пример, когда хотим подчеркнуть малые размеры чего-нибудь. Тогда мы говорим: «с булавочную головку».

Булавочная головка меньше капли воды, но в ней все же заключено больше чем $10^{19}$ атомов железа.

С чем можно сравнить это число? От Земли до Солнца 150 млн. *км*. Переведем километры в миллиметры, получим $1{,}5 \cdot 10^{14}$ *мм*. Это число грандиозно, но все же, если бы мы распределили атомы из булавочной головки на пути от Земли до Солнца, то на каждом миллиметре его оказалось бы... по полмиллиона атомов. Представьте себе бесконечную вереницу кучек по полмиллиона атомов от Земли до Солнца и все эти атомы из одной булавочной головки. Вот как мал атом!

Но ведь это все еще не электрон. Это сложное образование — атом. Электрон еще меньше. В атоме железа, из которого сделана булавочная головка, 26 электронов. Если все электроны булавочной головки растянуть цепочкой с интервалом в 1 *мм*, то такая цепочка электронов протянется от Земли в безбреж-

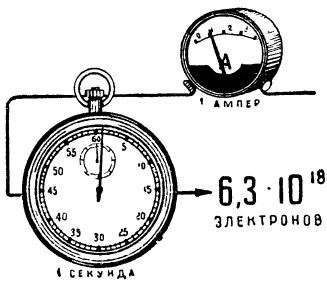
ные дали космического пространства на такое расстояние, какое свет пролетает за 26 лет. Это далеко даже в космических масштабах. Ведь ближайшая звезда (Проксима в созвездии Центавра) находится от Земли на расстоянии всего 4 световых года. А 26 световых лет — это расстояние, на котором находится от Земли яркая и красивая звезда Вега из созвездия Лиры.

Вот в какие страшные дали завела нас булавочная головка!

Что же представляет собой электрон и какие числовые характеристики определяют его физические свойства?

Электрон является частицей, имеющей наименьший электрический заряд. Заряд электрона считается наименьшим возможным количеством электричества только потому, что до сих пор ни разу не приходилось наблюдать меньшего заряда, хотя современная техника эксперимента позволяет обнаружить и измерить меньшие заряды. Заряд электрона измерен много раз разными способами. Он оказался равным $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ абсолютных электростатических единиц, или $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ кулона.

Эта величина представляет для радиотехников особый интерес, так как им постоянно приходится иметь дело с электрическими потенциалами и электрическим током. А электрические потенциалы связаны со скоплением электронов (или других заряженных частиц) в одном месте и недостатком их в другом. Что же касается электрического тока, то он представляет собой движение зарядов. При токе 1 *а* за 1 *сек* через поперечное сечение проводника протекает 1 кулон электричества, т. е. $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов.



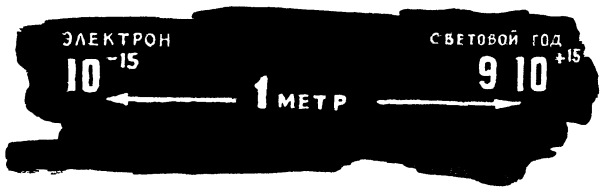

Число электронов в кулоне баснословно велико. Если зарядить какое-нибудь тело отрицательным зарядом в 1 кулон и потом начать снимать с него электроны по 1 млн. в секунду, то снимать их придется... 200 тыс. лет.

Электрон имеет массу.

Остроумные и изумительные по своей тонкости эксперименты позволили физикам не только измерить заряд электрона, но и определить его массу. Она оказалась равной

$9{,}1 \cdot 10^{-28}$ *г*. Эта величина чрезвычайно мала. Но все же масса электрона не равна нулю, и, помножив число электронов в кулоне на только что приведенную величину, получим, что кулон имеет массу $5{,}7 \cdot 10^{-9}$ *г*. Кулон нельзя «взвесить» даже на самых лучших микроаналитических весах, чувствительность которых равна миллионным долям грамма. Не так давно в газетах было сообщение об очередном «чуде техники»: в Ленинграде сконструированы аналитические ультрамикровесы, способные «чувствовать» вес до одной стомиллионной грамма. Однако и эти ультрасовременнейшие весы не могут взвесить кулон.

Интересно получить хотя бы какое-нибудь представление о величине электрона. Нельзя примитивно считать электрон каким-то подобием шарика или телом какой-либо иной формы. Но все-таки некоторые цифры, характеризующие размеры электрона, имеются. Следует только правильно понимать их. Под размерами электрона понимают не его границы, как какого-то твердого тела, а тот объем, в пределах которого сильно проявляются свойства электрона и приближение к которому уже можно считать соударением с электроном. Такой объем имеет поперечник около $10^{-5}$ ангстрема, или $1{,}2 \cdot 10^{-13}$ *см* [ангстрем Å $= 10^{-8}$ *см*]. Как и




всегда, эту величину нельзя представить себе без сопоставления. Есть огромная единица — световой год. Расстояние от Земли до Солнца всего только 8,5 световой минуты. Так вот: диаметр электрона примерно во столько же раз меньше метра, во сколько раз метр меньше светового года.

Мы считаем электрон частицей вещества, одной из наименьших элементарных частиц. Такие характеризующие электрон величины, как масса, размеры, по своей сути подтверждают представление о том, что электрон является каким-то микроскопическим «тельцем». Но самые тщательные исследования показали, что в некоторых случаях «поведение» электрона таково, что его приходится считать не

частицей, а волной со всеми присущими ей свойствами, в том числе и длиной. Длина волны электрона зависит от скорости его движения. При тех скоростях, с какими фактически приходится иметь дело, длина волны электрона примерно такая же, как рентгеновых лучей, т. е. около 0,000005 *мм*.

Длина волны электрона связана с «разрешенными» электронными оболочками атомов. Атому «разрешены» те оболочки, в которые укладывается целое число электронных волн.

Следует предостеречь от одной ошибки, которую часто делают, считая, что волны электрона являются электромагнитными волнами. Это не электромагнитные волны, это волны иного порядка, природа которых пока неясна. Они носят название дебройлевских волн (по имени французского физика Де-Бройля). Волновыми свойствами обладают не только электроны, но и все другие элементарные частицы и даже все вообще движущиеся тела. И Вы, читатель, если идете, то приобретаете волновые свойства, однако длина Вашей волны крайне мала, так как длина дебройлевских волн тем меньше, чем больше масса движущегося объекта и чем меньше его скорость.

Однако электрон может быть также источником и электромагнитных колебаний. Это происходит, например, при его торможении. Энергия электрона тем больше, чем быстрее он движется. Указанная выше масса электрона — это масса покоя. Масса движущегося электрона возрастает со скоростью. Если электрон тормозится, то его энергия уменьшается. Излишек энергий может быть отдан в виде излучения электромагнитных колебаний.

Несколько слов о взаимодействии электрона с полями. Электрон имеет массу и поэтому взаимодействует с гравита-

ционным полем. Но «вес» электрона так мал, что с ним практически не приходится считаться. Вокруг электрона существует электрическое поле. Находясь в постороннем электрическом поле, электрон движется по направлению его линий в сторону положительных зарядов. У неподвижного электрона магнитного поля нет и с постоянным магнитным полем он не взаимодействует. Вокруг движущегося электрона образуется магнитное поле. Движущийся электрон взаимодействует с магнитным полем. Это взаимодействие сказывается в изменении направления движения электрона.

Пытаясь составить себе какое-то представление об электронах и других элементарных частицах, не следует забывать того, что они находятся где-то на грани тех масштабов, которые так или иначе достигнуты имеющимися в нашем распоряжении средствами познания окружающего

мира. Микромир элементарных частиц отстоит от привычных нам размерностей примерно на 15 порядков. Действительно, если размеры электрона увеличить на 15 порядков, то получится величина примерно около метра — самая привычная единица размерностей нашего быта. Примерно в $10^{25}$ раз отличается от метра предел нашего проникновения в мегамир галактик и звездных образований.

Эти рубежи, по-видимому, характеризуются не только определенным изменением масштабов, но и качественными изменениями взаимосвязей, иными закономерностями. Примером таких неожиданных взаимосвязей могут служить хотя бы могучие внутриядерные силы, удерживающие рядом и крепко цементирующие частицы с одинаковым зарядом, испытывающие вследствие этого огромные силы отталкивания. Видимо, некоторые «наши» законы природы, законы наших масштабов перестают действовать и в мегамире звездных скоплений.

Поэтому не будем считать электрон примитивным «шариком», простейшим кирпичиком мироздания. Структуры электрона мы еще не знаем, но уже очевидно, что он тоже

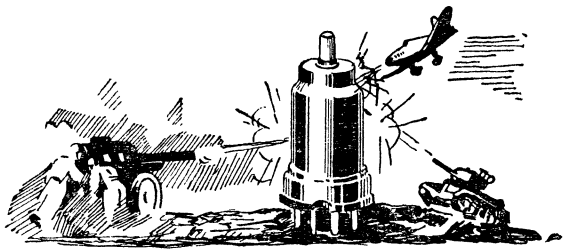
сложен. Электрон находится сегодня на пределе выявленных нами рубежей в структуре мира. Мы пока не знаем, что делается еще дальше в глубине материи за этими рубежами.

Но наши познания микромира непрерывно расширяются и углубляются, и пределы познанных нами и поставленных на службу человеку масштабов непрерывно раздвигаются.

---

Огромное количество атомов, содержащихся даже в самом незначительном объеме любого вещества, заставляет думать, что элементарные частицы, из которых оно состоит, плотно спрессованы.

Можно привести много примеров, которые подтверждают эту мысль. Вот перед нами радиолампа. Из ее стеклянного или металлического баллона со всей тщательностью выкачан воздух. Несметные полчища молекул воздуха яростно



бьются снаружи о стенки баллона, стремясь прорваться внутрь. Каждый квадратный сантиметр поверхности баллона при комнатной температуре испытывает в секунду $10^{22}$ ударов от окружающих лампу молекул воздуха, несущихся со скоростью 1 500 *км/ч*. Однако тонкие стенки баллона успешно противостоят этому сверхураганному об-

стрелу. Ни малейшей щелки не могут найти в них молекулы воздуха.

Это невольно заставляет думать, что элементарные частицы, из которых состоит вещество, сложены так же плотно, как скажем, кирпичи в стене.

Посмотрим, как обстоит дело в действительности. Для этого обратимся снова к булавочной головке и прежде всего заметим некоторые нужные нам цифры: поперечник электрона примем равным $10^{-12}$ *мм*; поперечник атомного ядра в среднем составляет $10^{-11}$ *мм*, а поперечник атома — около $1 \cdot 10^{-7}$ *мм*. Поперечник булавочной головки примем равным 1,3 *мм*, а число атомов в ней, как уже указывалось, $10^{19}$.

Увеличим булавочную головку до размеров земного шара. Диаметр земного шара равен в круглых цифрах 13 000 *км*, т. е. $13 \cdot 10^9$ *мм*. Значит, булавочную головку, имеющую в поперечнике 1,3 *мм*, надо увеличить в 10 млрд. ($10^{10}$) раз, чтобы она сравнялась по величине с земным шаром.

Какой же величины достигнет при таком увеличении атом? Поперечник атома примерно равен $1 \cdot 10^{-7}$ *мм*, т. е. $10^{-10}$ *м*. При увеличении в 10 млрд. раз поперечник его станет равен 1 *м*. В результате такого увеличения мы получим метровую модель атома, размер которой нам представить себе нетрудно. Это шар окружностью в два обхвата.

Сколь же велики при подобном увеличении будут атомные ядра и электроны?

Поперечник атомного ядра равен примерно $10^{-11}$ *мм*. При увеличении в $10^{10}$ раз ядро атома достигнет величины 0,1 *мм*. Точка, стоящая в конце этой фразы, имеет диаметр около 0,5 *мм*. Значит, диаметр атомного ядра будет в 5 раз меньше. Это — толщина волоса.

Удастся ли увидеть ядро в такой метровой модели атома? При хорошем боковом освещении и на соответствующем фоне люди с хорошим зрением смогут различить его. Ведь мы различаем в солнечном луче мельчайшие пылинки, невидимые в обычных условиях.

А каким же станет диаметр электрона? Он будет еще в 10 раз меньше. Толщина паутинной нити может дать

представление о поперечнике электрона при увеличении в 10 млрд. раз. Такую «модель» электрона можно увидеть только в лупу.

К чему же мы пришли? В объеме, имеющем форму шара, с поперечником 1 *м*, находится едва заметная пылинка, занимающая положение в центре. Вокруг нее на различных расстояниях по определенным поверхностям, как бы по невидимым оболочкам, кружатся 26 электронов, различимых только в лупу. Атом по существу пуст. Вещество в виде ядра и электронов занимает в нем только $\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000\,000}$ его объема. Для сравнения можно привести нашу солнечную систему. Она фактически имеет блинообразную форму, но приближенно мы можем представить себе ее в виде шара с поперечником, равным удвоенному расстоянию от Солнца до отдаленнейшей планеты — Плутона, т. е. шара с поперечником 12 млрд. *км*. В этом огромном объеме Солнце, Земля и все другие планеты с их спутниками занимают ничтожное место, но все же отношение части этого объема, занятой веществом, к его пустой части будет в 200 раз больше, чем у атома.

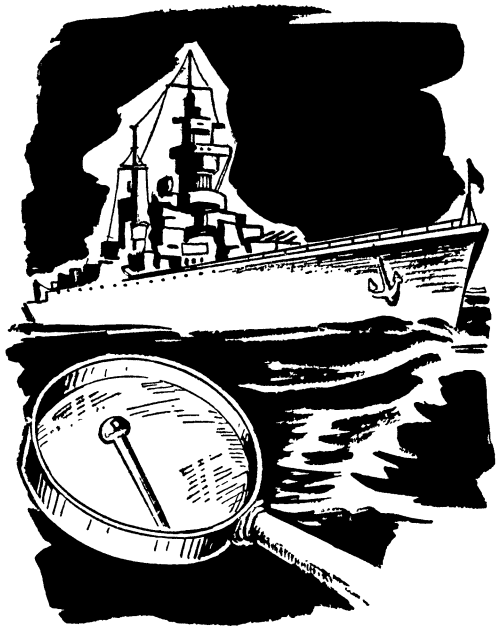
Так как основой структуры всякого вещества является именно атом, можно сказать, что в телах вещество разбросано незначительными «порциями», находящимися друг от друга на относительно очень большом расстоянии, а все тело в целом состоит главным образом из «пустоты».

Мы неслучайно взяли слово «пустота» в кавычки. В обиходе мы считаем пустотой пространство, в котором «ничего нет». Согласно взглядам современного естествознания такой совершенной пустоты нет. Под словом «пустота» надо понимать физическую среду, в которой действуют различные поля — электрические, тяготения и др., которые обладают способностью переносить энергию и передавать взаимодействие между частицами.

Но мы сделаем вид, что забыли об этом, и будем считать промежутки между частицами в атомах пустотой, поскольку она не имеет массы в общепринятом смысле и при отсутствии полей не оказывает препятствий движению частиц. А всевозможные сочетания атомов — молекулы и образованные из них тела — еще более «пусты», так как атомы в них не прилегают вплотную друг к другу. В сущности говоря, степенью концентрации атомов в объеме вещества и определяется его масса и то, что мы в обиходе называем его

весом. Если бы вещество удалось спрессовать так, чтобы ядра его атомов сошлись вплотную, то все тела невероятно уменьшились бы в размерах, сохраняя в то же время свой вес. Кубический метр вещества, спрессованного до такой степени, превратился бы в невидимую пылинку объемом в миллионные доли кубического миллиметра.

Продолжая сравнение с булавочной головкой, можно подсчитать, что если весь материал, из которого построен



огромный современный линкор водоизмещением 45 000 *т*, сжать так, чтобы ядра его атомов сошлись, то вещество его займет объем примерно булавочной головки, масса которого, однако, останется прежней. У нас на земле эта «булавочная головка» будет весить 45 тыс. *т*.

Может быть все это «чистая фантазия» и в природе этого не может быть? Нет, сверхтяжелые вещества, состоящие из спрессованных атомов, в природе существуют. Есть целые звезды, состоящие из такого вещества. Их называют белыми карликами. Одной из них является, например,

спутник Сириуса — Сириус-В. Он по размерам сходен с нашей Землей, а масса его равна массе Солнца. Один кубический сантиметр вещества Сириуса-В весил бы на Земле 100 *кг*. Один кубический метр этого вещества равен по весу атомному ледоколу «Ленин».

Но это совсем не предел. Есть маленькая звездочка Росс-267. Ее средняя плотность 10 *т* на кубический сантиметр, следовательно 1 $см^3$ вещества ее весит не 100 *кг*, как у Сириуса-В, а 10 000 *кг*.

Но если вещество по существу представляет собой пустоту, то почему же оно непроницаемо? Почему молекулы воздуха, бомбардирующие снаружи баллон электронной лампы, не могут проникнуть внутрь?

Самый тонкий слой вещества состоит из столь большого числа атомов, что «посторонние» молекулы не могут пролететь сквозь него, не претерпев многократных столкновений с атомами и не израсходовав в результате этих столкновений всю свою энергию. Пленка металла толщиной 100 атомов уже непроницаема для газа, а стенка металлического баллона лампы имеет толщину около 0,5 *мм*, что соответствует примерно $5 \cdot 10^{10}$ атомам. Дело в том, что для «столкновения» с атомом вовсе не нужно «стукнуться» об его ядро. В пространстве, занимаемом атомом, действуют исключительно мощные силы, поэтому для элементарных частиц сближение на расстояния, соизмеримые с размерами атома, уже по сути дела представляют собой столкновение со всеми его последствиями.

По мере уменьшения расстояния между ядрами, имеющими одноименные заряды, силы отталкивания между ними увеличиваются. Еще до полного сближения частиц силы отталкивания возрастают настолько, что приближающаяся частица отбрасывается назад или же путь ее движения искривляется.

В заключение интересно привести сведения об удельном весе вещества протона. Он равен $12 \cdot 10^{13}$. На земле 1 $мм^3$ такого вещества весил бы 120 тыс. *т*.

Числа, связанные с электронами, бывают то фантастически малыми, то неимоверно большими. Они настолько отличны от всех привычных нам масштабов, что мы не воспринимаем их.

Что нам говорит, например, величина массы электрона $9 \cdot 10^{-28}$ *г*? Мы не постигаем всей неизмеримой малости этого числа. Чтобы облегчить понимание этого, попробуем подсчитать, сколько надо взять электронов, чтобы их общая масса составила 1 *г*. Это сделать просто. Для этого надо взять

$$\frac{1}{9 \cdot 10^{-28}} \approx 10^{27} \text{ электронов.}$$

Сравним это громадное число с другим, тоже чрезвычайно большим. Мы знаем, что при токе 1 *а* через поперечное сечение проводника в 1 *сек* проходит 1 кулон электричества, или $6{,}3 \cdot 10^{18}$ электронов.

На сколько первое число ($10^{27}$) превосходит второе ($6{,}3 \cdot 10^{18}$)? Надолго ли хватит 1 *г* электронов, чтобы поддерживать в цепи ток, например, 0,5 *а*, нужный для работы лампового батарейного приемника? Вообразим, что нам удалось раздобыть бутылочку с 1 *г* электронов и что из нее воображаемый насос откачивает электроны и нагнетает их в радиоприемник. Сколько же времени сможет наша чудесная бутылочка питать приемник?

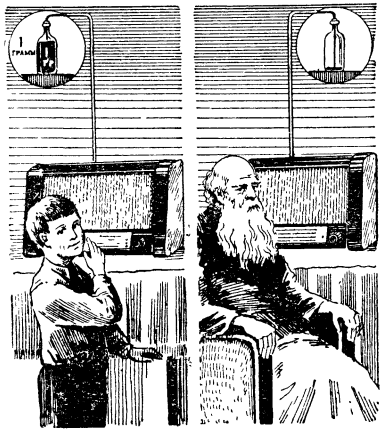
Найдем сначала, сколько секунд 1 *г* электронов сможет поддерживать ток 1 *а*. Для этого число электронов в грамме разделим на число электронов в кулоне:

$$\frac{10^{27}}{6{,}3 \cdot 10^{18}} \approx 1{,}6 \cdot 10^{8} \text{ сек} \approx 44\,000 \text{ ч} \approx 1\,800 \text{ суток.}$$

Приемник потребляет 0,5 *а*, следовательно 1 *г* электронов сможет питать его в течение $1\,800 \cdot 2 = 3\,600$ суток $=$ $=$ 10 лет.

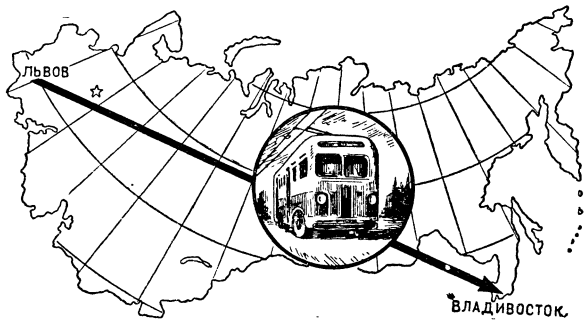
Один грамм электронов обеспечит 10 лет непрерывной работы приемника! Таков неожиданный результат нашего подсчета.

Но ведь никто не пользуется приемником непрерывно. Обычно его включают часа на 4 в день. При таком режиме работы запаса питания в чудесной бутылочке с граммом электронов хватит на 60 лет. Можно с полным правом сказать, что столь удачная покупка обеспечит питание приемника на всю жизнь. Если же приемник не ламповый, а транзисторный, то наша бутылочка будет питать его несколько поколений.




Произведем для полноты картины еще один подсчет: сколько времени 1 *г* электронов сможет питать троллейбус? Троллейбус потребляет около 130 *а*. Один грамм электронов обеспечит $\frac{1\,000}{130} = 14$ суток непрерывного движения троллейбуса.

Цифра тоже неожиданно большая, особенно в сопоставлении с длиной пробега троллейбуса. Делая по 40 *км/ч*,




троллейбус за 14 суток покрыл бы расстояние примерно 13 500 *км*, т. е. прошел бы с запада на восток всю нашу огромную страну. Две недели мчался бы без остановки

троллейбус через леса, поля, горы, тайгу, мимо городов, заводов, деревень, новостроек. Двадцать восемь раз день сменился бы ночью и ночь снова сменилась бы днем, пока, наконец, троллейбус не достиг бы берегов Тихого океана. И за все это время, за весь этот огромный путь через его мотор прошел бы только 1 *г* электронов.

Кстати, многих может заинтересовать вопрос: в каком же количестве вещества содержится 1 *г* электронов? Можно подсчитать, что, например, 1 *г* электронов содержится в куске железа весом около 4 *кг*.

Не надо думать, что вопрос об 1 *г* электронов имеет чисто шуточный характер. Бóльшая часть элементарных частиц имеет массу и сопоставления в этой области вполне возможны. Вот еще один примерно подобный же вопрос: какова масса киловатт-часа? Казалось бы, что киловатт-час представляет собой определенную единицу и нельзя ставить вопрос о его массе. Но между тем на этот вопрос можно ответить совершенно точно. По одному из основных уравнений теории относительности энергия $E$ равна:

$$E = mc^2,$$

где $m$ — масса вещества, а $c$ — скорость света.

Подставив соответствующие величины, найдем, что масса киловатт-часа равна $4 \cdot 10^{-8}$ *г*. Итого 4 стомиллионные доли грамма вещества эквивалентны киловатт-часу. Работа атомных реакторов и других атомных устройств, в которых масса переходит в энергию, весьма авторитетно подтверждает физическую реальность подобных соотношений.

На вопрос «что такое вакуум?» обычно отвечают: «пространство с разреженным воздухом» или «пространство внутри сосуда, из которого выкачан воздух».

Можно ли удовлетвориться подобными ответами? Всякую ли степень разрежения можно назвать вакуумом и находится ли степень вакуума в какой-либо связи с атмосферным давлением?

Действительно, предположим, что в баллоне воздух разрежен в 10 000 раз по сравнению с плотностью его при нормальном атмосферном давлении, т. е. давление внутри баллона равно 0,076 *мм рт. ст.*

Будет ли в баллоне вакуум? И можем ли мы продолжать считать, что в баллоне вакуум, если этот баллон поднят на высоту 100 *км* над поверхностью земли, где давление воздуха составляет всего 0,007 *мм рт. ст.*? Ведь в этом случае плотность воздуха внутри баллона станет в 10 раз больше, чем снаружи. Если баллон непрочен, то его разорвет, как бомбу. Где же будет вакуум — внутри баллона или снаружи?

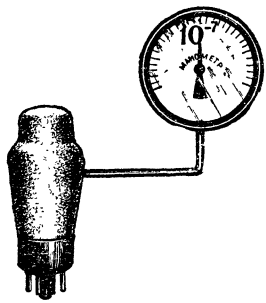
Современная физика связывает понятие вакуума не с величиной давления вне или внутри сосуда, а с длиной свободного пробега молекул газа внутри него. Молекулы газов находятся в беспрерывном хаотическом тепловом движении, достигающем больших скоростей: при комнатной температуре скорость теплового движения молекул воздуха равна примерно 450 *м/сек*, т. е. приближается к скорости пули. Двигаясь во всех направлениях, молекулы постоянно сталкиваются друг с другом. Чем плотнее воздух, тем больше молекул заключается в единице объема и тем чаще молекулы сталкиваются.

Если воздух разредить, то молекулы будут сталкиваться менее часто. В среднем им придется пролетать больший путь между двумя столкновениями, который и называется длиной свободного пробега.

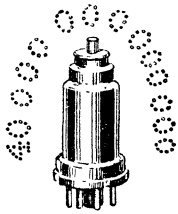
Вакуумом с физической точки зрения считается такое разрежение, при котором длина свободного пробега в среднем больше размеров сосуда. В этом случае столкновения молекул будут редкими, бо́льшая часть молекул в своем движении от одной стенки сосуда до другой не встретится с другими молекулами.

При разрежении в миллион раз (при давлении порядка 0,001 *мм*) средняя длина свободного пробега молекулы воздуха равна 10 *см*. Так как размеры баллона обычных приемно-усилительных ламп меньше 10 *см*, с точки зрения физики пространство внутри этих ламп уже при подобном разрежении можно считать вакуумом.

Но для хорошей работы лампы такая степень вакуума недостаточна. Электроны, в огромном количестве летящие от катода лампы к ее аноду, будут все же встречать на своем пути довольно много молекул воздуха, столкновения электронов с ними будут частыми. В результате этих столкновений молекулы воздуха ионизируются, анодный ток резко возрастает, положительные ионы оседают на отрицательно заряженной сетке, изменяют ее заряд, а следовательно, и характер работы лампы. В приемниках и усилителях это, в частности, приводит к сильным искажениям. Поэтому в радиолампах добиваются значительно большего разрежения, доходящего обычно до $10^{-7}$ *мм* (0,0000001 *мм*), т. е. давление понижается примерно в 10 млрд. раз по сравнению с нормальным атмосферным давлением. При таком разрежении длина свободного пробега молекул измеряется километрами и на пути от катода к аноду примерно лишь один электрон из миллиона может встретиться с молекулой воздуха. Столь редкие столкновения не отражаются вредно на работе лампы.



## Сколько же молекул воздуха остается в лампе?



При таком огромном разрежении, какое достигается в радиолампе, в ней остается примерно одна десятимиллиардная часть того количества воздуха, которое было до откачки.

Такое уменьшение колоссально!

Если бы расстояние от Земли до Солнца уменьшилось в 10 млрд. раз, то Землю и Солнце разделяли бы всего 15 *м* — ширина среднего размера улицы. Земля, уменьшенная в такое число раз, превратилась бы в крупинку диаметром около миллиметра.

И все-таки при подобном разрежении в баллоне электронной лампы обычных размеров, например 6К3, остается еще $40 \cdot 10^{12}$ (40 триллионов) молекул.

Это число огромно. Самые мелкие маковые зернышки имеют в диаметре около 0,5 *мм*. Разместив их правильными рядами, мы сможем уложить в 1 $мм^3$ восемь зернышек. Какой же объем займут 40 триллионов таких зернышек?

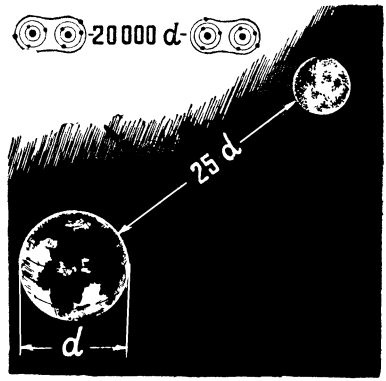
Несложный подсчет покажет, что для хранения подобного количества маковых зернышек потребуется помещение емкостью 5 000 $м^3$, т. е. куб со стороной около 17 *м*.

Но молекулы настолько малы, что для размещения их в количестве даже десятков триллионов нужен совсем микроскопический объем. Диаметр молекулы газа в среднем равен $1 \cdot 10^{-6}$ *мм* — одной миллионной миллиметра. Если те 40 триллионов молекул, которые остались в баллоне лампы, уложить плотно одну к другой, то они займут объем всего лишь $4 \cdot 10^{-5}$ $мм^3$. Этот объем в 250 млн. раз меньше объема баллона лампы. При равномерном размещении внутри баллона лампы всех оставшихся в ней после откачки молекул в каждом кубическом миллиметре окажется около 80 000 молекул.

Это число тоже очень велико, но чтобы составить себе правильное представление о том, на каком расстоянии

молекулы будут находиться друг от друга, надо перевести все величины в привычные нам масштабы.

При равномерном распределении 80 000 молекул в 1 $мм^3$ они будут находиться друг от друга на расстоянии примерно 0,02 *мм*. Это расстояние в 20 000 раз больше диаметра молекулы. Перейдем к астрономическим масштабам. Земля удалена от Луны на расстояние, примерно в 25 раз превышающее диаметр Земли. Округляя, можно считать расстояние между Землей и Луной в 1 000 раз меньше, чем между молекулами в баллоне лампы. Чтобы еще лучше представить это себе, вернемся к маковым зернышкам. Два мельчайших маковых зернышка, разнесенных на расстояние, в 20 000 раз превышающее их диаметр, будут отстоять друг от друга на 10 *м*. Переходя на бытовые масштабы, можно сказать, что два маковых зернышка в комнате площадью 50 $м^2$ — вот «густота» молекул в электронной лампе.




Естественно, что электроны, летящие от катода к аноду, почти не встречают на своем пути молекул воздуха; такие встречи возможны лишь в виде редких исключений.

---

Блеснула молния, через несколько секунд раздался удар грома. Нас не удивляет то, что эти явления мы восприняли разновременно. Мы знаем, что звук распростра-

няется не очень быстро и на преодоление даже небольших расстояний ему требуется время, явственно различаемое нашими органами чувств.

Охотник стреляет в летящую утку. Он целится не в нее, а в пространство перед нею. Нас это тоже не удивляет. Дробь летит с ограниченной скоростью и если прицел был правилен, то за то время, пока дробь долетит до намеченной точки пространства, утка прилетит туда же и будет сражена.

Таких примеров можно набрать много. Во всевозможных областях нашей деятельности нам приходится считаться с тем, что различные процессы протекают не мгновенно, на них требуется какое-то время, которое необходимо учитывать.

И вот только в том, что относится к свету и электричеству, мы считаем себя свободными от этой необходимости. Мы уверены в том, что стоит повернуть выключатель или нажать кнопку, как электрический ток мгновенно промчится по проводам и приведет в действие лампу, двигатель или какое-нибудь иное устройство, причем длина проводов не играет в данном случае никакой роли.

Так ли это?

При всем уважении и любви к электричеству приходится сознаться в том, что это не так. Электрический ток распространяется не «мгновенно» и его практически нельзя приравнивать в этом отношении к свету. Кроме того, надо внести ясность в само название «электрический ток».

Электрический ток по своей физической сущности является движущимися электрическими зарядами — в большинстве случаев электронами. Движущийся электрон — это электрический ток. Но электрон не начинает двигаться сам по себе, ни с того ни с сего. Для этого на электрон должна воздействовать определенная причина. Причины могут быть различными, в том числе механическими (удар какой-нибудь частицы). В тех случаях, которые нас больше интересуют, электрон в основном приходит в движение под воздействием электрического или магнитного поля. Но движение носителей тока — электронов происходит очень медленно.

Что делается «внутри» провода? В образовании электрического тока принимают участие свободные электроны, содержащиеся в проводниках в огромном количестве (число свободных электронов примерно равно числу атомов). Эти

электроны не остаются неподвижными, если в проводнике нет тока. Они находятся в постоянном хаотическом тепловом движении. Но не следует думать, что электроны движутся в металле легко и свободно. Их движение затруднено. Электроны испытывают непрестанные столкновения как друг с другом, так и с атомами и в результате этих столкновений изменяется направление движения электронов, уменьшается или увеличивается их скорость, а зачастую электроны отскакивают в обратном направлении.

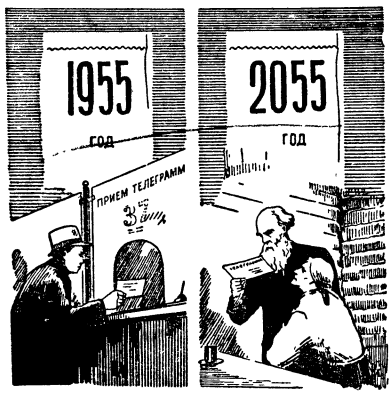
Фактически тепловая скорость движения электронов в проводах составляет в среднем всего лишь несколько десятков километров в секунду. Почти никакого электрического действия тепловое движение электронов не производит, хотя всякое движение электронов представляет собой электрический ток. Объясняется это хаотическим характером теплового движения: любому числу электронов, движущихся в каком-нибудь направлении и с какой-то скоростью, всегда соответствует в среднем такое же количество электронов, движущихся в противоположном направлении с той же скоростью. Они не производят никакого электрического действия, так как создаваемые ими поля противоположны и взаимно гасятся.

При воздействии на электроны постороннего электрического поля, кроме такого хаотического движения, возникает еще и упорядоченное движение электронов в одну сторону, определяемую знаком поля. Это не означает, что все свободные электроны при наличии поля начинают двигаться в одну сторону. Скорость, которую приобретают электроны под действием поля, сравнительно невелика, но она складывается со скоростью теплового движения. Это значит, что электроны, двигавшиеся в направлении действия поля, увеличат свою скорость, а движение электронов в обратном направлении замедлится. Те из них, скорость которых была мала, меньше скорости, сообщаемой полем, изменят направление движения и начнут перемещаться в сторону действия поля. В итоге через любое сечение проводника за секунду будет проходить больше электронов в направлении действия поля, чем в обратном направлении. Чем сильнее электрическое поле — чем больше действующее в цепи напряжение, тем больше эта разница и тем сильнее электрический ток, величина которого определяется числом электронов, протекающих за единицу времени через поперечное сечение проводника.

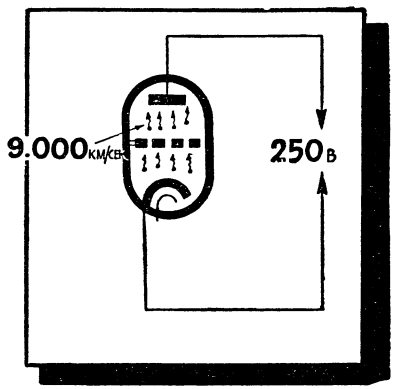
Какова же скорость движения электронов, вызванная действием электрического поля?

В проводах скорость движения электронов под действием поля в промежутках времени между двумя столкновениями может достигать нескольких километров в секунду. Но бесчисленные столкновения приводят к тому, что действительная скорость движения электронов в направлении действия поля очень мала. Эта скорость в конечном счете определяется напряженностью поля и при напряженности поля 1 *в* на сантиметр длины провода составляет около 10 *см/сек*.

Но такая напряженность поля очень велика и встречается редко. Чтобы создать такое поле в проводе длиной 1 *км*, надо подвести к нему напряжение 100 000 *в*. Фактически имеющие место напряженности поля бывают значительно меньше, и средняя скорость движения электронов в направлении действия такого поля достигает немногих миллиметров или даже долей миллиметра в секунду. Например, в осветительной сети скорость движения электронов составляет 1—3 *мм/сек*. За час электроны передвигаются на расстояние всего около 10 *м*. Если бы скорость распространения электрического тока по проводам определялась скоростью движения электронов, то электрическая связь была бы немыслима. Телеграмма, посланная из Москвы во Владивосток, пришла бы туда через 100 лет. Ее получили бы правнуки адресата. А лампочку, простую электрическую лампочку в люстре, нам приходилось бы включать за полчаса до того, когда нам потребуется ее свет, так как раньше электроны не добрались бы до нее. (В этих примерах мы считаем, что имеем дело с постоянным током, который создается движением электронов в одну сторону. При переменном токе электроны совершают лишь колебательные движения с такой же малой скоростью около среднего положения и вообще не перемещаются на большие расстояния.)



В вакууме скорость движения электронов больше, чем в проводах. Это объясняется тем, что здесь электроны испытывают сравнительно мало столкновений с молекулами разреженных газов, оставшихся после откачки. Мы имеем здесь в виду такую степень вакуума, которая фактически бывает в электронных лампах. Поэтому в этом случае скорость движения электронов определяется только ускоряющим действием поля и фактически значительно превышает тепловую скорость. В электронных лампах при анодном напряжении 250 *в* электроны пролетают пространство между катодом и анодом со скоростью около 9 000 *км/сек*. Еще значительно быстрее мчатся электроны в телевизионных трубках, где они разгоняются напряжением во много тысяч вольт.




Направление теплового движения электронов в проводниках хаотично. В каждый данный момент известное количество электронов имеет такое направление движения, которое должно привести к вылету их за пределы проводника. Однако преодоление поверхностного слоя представляет для электронов серьезное затруднение, так как он отталкивает их внутрь проводника (см. стр. 95). Чтобы прорваться наружу, электроны должны приобрести большую скорость. Например, для того чтобы вылететь из вольфрама — металла, из которого делаются нити накала радиоламп, электроны должны приобрести скорость 1 270 *км/сек*.

Подобную скорость электроны могут приобрести только при сильном нагревании проводника. Когда нужная скорость достигнута, начинается вылет электронов из проводника во внешнее пространство — начинается электронная эмиссия. Проводник из вольфрама для получения нормальной электронной эмиссии должен быть нагрет примерно до 2 500° С.

Таким образом, скорость движения электронов в осветительных сетях и обычной электроаппаратуре, например

в радиоаппаратуре, колеблется в пределах примерно от долей миллиметра до нескольких тысяч километров в секунду. При этом большие скорости наблюдаются только в накаленных проводниках и электронных лампах, в других же случаях скорость движения — миллиметры в секунду.

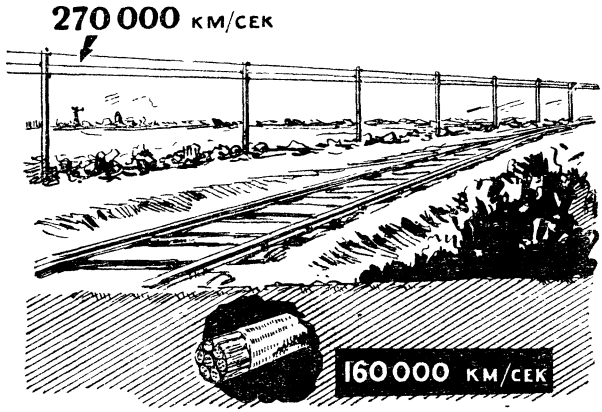
А как же обстоит дело с «мгновенным» распространением электрического тока? Ведь это же не фикция! Лампочка под потолком загорается практически одновременно с поворотом включателя.

Именно поэтому несколько выше и было сказано, что в само понятие «электрический ток» должна быть внесена ясность. Электрический ток физически — это поток электронов, движущихся в большинстве случаев очень медленно. Но попробуем внимательно проследить сам механизм тока.

Возьмем длинный провод, один из концов которого присоединен к полюсу аккумулятора (или любого другого источника тока), а второй конец останется неприсоединенным. Электродвижущая сила аккумулятора произведет в этой незамкнутой цепи некоторое перераспределение электронов. Если, например, провод присоединен к положительному полюсу аккумулятора, то на его свободном конце образуется нехватка электронов, соответствующая положительному заряду, а на свободной клемме аккумулятора создастся избыток электронов (отрицательный заряд). Если теперь свободный конец провода присоединить ко второй клемме аккумулятора, то электроны устремятся с клеммы в провод, чтобы восполнить там нехватку электронов. Само по себе движение электронов будет, как мы знаем, медленным, но как только первые электроны придут в движение, их поле заставит двигаться электроны, находящиеся впереди. Поле этих электронов в свою очередь побудит начать движение следующие электроны и т. д. В результате поле, заставляющее электроны двигаться, помчится по проводу с большой скоростью. Вот эта скорость — скорость распространения поля — действительно велика. Ее можно приравнять к скорости света. Когда мы поворачиваем выключатель лампы, поле с баснословной скоростью проносится по проводу и заставляет двигаться электроны в нити накала лампы, вследствие чего происходит ее нагревание.

Но было бы все же неправильно утверждать, что электрический ток (в таком его понимании) распространяется со скоростью света. Если замыкаемая цепь очень коротка и

прямолинейна, то скорость распространения тока действительно не отличается существенно от скорости света (300 000 *км/сек*). Однако в длинных проводах скорость тока меньше скорости света, причем разница зависит от рода провода (от рода линии). С этим приходится практически считаться. Существуют, например, приборы для определения повреждений проводных линий. Они работают по принципу радиолокатора: в линию посылается импульс тока, который отражается от места повреждения и возвращается к месту посылки, где и улавливается. По времени между посылкой импульса и возвращением его и судят о расстоянии до места повреждения. В этом случае надо знать точную величину скорости распространения тока в данной линии, иначе определение расстояния не будет верным.




И вот измерения показали, что в воздушных линиях скорость распространения тока колеблется в пределах от 270 000 до 290 000 *км/сек*, а в некоторых силовых подземных кабелях она составляет всего 160 000 *км/сек* — почти вдвое меньше скорости света.

Таким образом, различных «скоростей тока» очень много. Эта величина в зависимости от того, с какой позиции ее рассматривать, может быть равна и долям миллиметра и сотням тысяч километров в секунду, но она никогда не бывает равна скорости света (в пустоте).

Что такое электрический ток?

В наши дни физические знания распространены очень широко, и большинство ответит на такой вопрос двумя словами: «Поток электронов».

Однако теперь подобный ответ неточно отражает физическую сущность явлений.

Определение «поток электронов» относится к той эпохе, когда приходилось встречаться главным образом с электрическими явлениями в виде тока в проводниках. В этом случае электрический ток действительно представляет собой упорядоченное перемещение электронов, которое вполне может быть сравнено с потоком. Подвижными носителями электрических зарядов здесь являются свободные электроны, в большом количестве движущиеся в одном направлении, и это движение их может быть по праву названо потоком.

Но это определение далеко не всегда соответствует действительности.

Весьма распространенными носителями электрических зарядов являются ионы. Атомы в нормальном состоянии электрически нейтральны: положительный заряд ядра полностью уравновешивается отрицательными зарядами электронов в его электронных «оболочках». Но атомы могут терять электроны или же захватывать лишние, «сверхкомплектные» электроны. В обоих случаях атом становится ионом.

Атом с нехваткой электронов имеет положительный заряд, а атом с излишним электроном — отрицательный. Движение ионов тоже представляет собой электрический ток. По внешним проявлениям нельзя определить, какие носители электрических зарядов в данном случае движутся — электроны или ионы.

Однако ионы более громоздки, чем электроны; ведь ион — это целая система элементарных частиц. Поэтому ионы далеко не во всех проводниках могут передвигаться свободно. Вот в жидких проводниках с легко подвижными

частицами ионы могут перемещаться, и электрический ток в жидкостях образуется не только электронами, но также ионами. В электролите аккумуляторов и гальванических элементов течет ионный и электронный ток; положительные ионы движутся в одну сторону, а электроны — в обратную.

Но ионы движутся в электролите. «Войти» в твердые электроды, посредством которых ток выводится из элемента или аккумулятора, ионы не могут. Поэтому на границе между жидкостью и электродами происходит своего рода преобразование ионного тока в электронный и наоборот. Положительные ионы, притягиваясь к отрицательному электроду, на котором скопились избыточные электроны, заимствуют у него недостающие у них самих электроны и превращаются в нейтральные атомы. Понятно, почему это происходит. Собственная скорость электронов в твердом электроде и электрическое поле, действующее в электролите, недостаточны для того, чтобы электроны могли преодолеть сопротивление поверхностного слоя и вырваться наружу. Но когда вплотную к электроду подходит положительный ион, поле получается настолько сильным, что электрон вырывается из электрода.

К положительному электроду, обедненному электронами, притягиваются как свободные электроны, так и отрицательные ионы, которые отдают свои избыточные электроны, тоже превращаясь в нейтральные атомы.

К этому надо добавить, что ионами, образующими ток в жидкостях, могут быть не только атомы с недостатком или избытком электронов, но и соответствующим образом ионизированные молекулы, т. е. сочетания атомов.

Ионный ток образуется также в газах: в неоновых лампах, газотронах и пр. В электронных лампах основной ток — электронный, но здесь могут параллельно существовать и ионные токи, потому что оставшиеся в колбе лампы атомы и молекулы газа могут ионизироваться в результате столкновения с электронами, летящими с большой скоростью. Например, работа электронно-лучевых трубок основана на использовании тонкого пучка электронов (электронного луча), но наряду с этим в трубках образуются и ионы. Вследствие бомбардировки этими ионами (отрицательными ионами кислорода) на экранах телевизоров образуются завоевавшие печальную известность «ионные пятна». Теперь, чтобы сделать невозможным появление

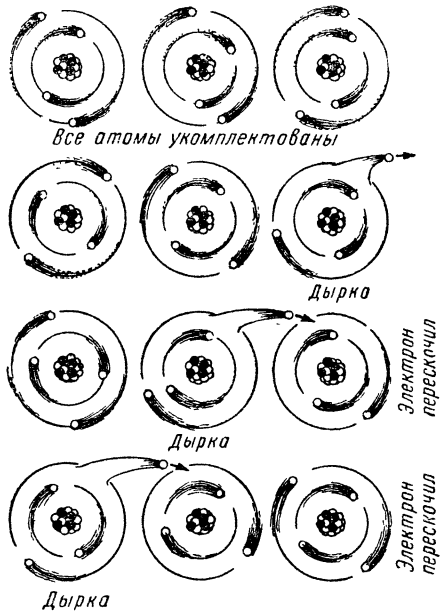
этих пятен, в электронно-лучевых трубках устраивают специальные ионные ловушки.

Большим своеобразием отличается физическая природа электрического тока в полупроводниках. Она очень сложна и изменяет свой характер в связи со многими причинами — материалом полупроводника, температурой, наличием примесей.

Чистый полупроводник при сильном охлаждении подобен изолятору. Все его электроны прочно удерживаются в своих атомах. Поэтому внешнее электрическое поле не может вызвать движения зарядов — нет зарядов, способных двигаться. В результате электрического тока не возникает. Это — изолятор, к нему приложено напряжение, но тока не возникает. Однако электроны в атомах полупроводников удерживаются все же не так прочно, как в атомах изоляторов. При нагревании, при облучении светом или невидимыми лучами электроны получают дополнительную энергию, достаточную для того, чтобы вырваться из атома и получить возможность передвигаться. В результате в полупроводниках появляются свободные заряды, создающие проводимость. Из этого, между прочим, вытекает одна из особенностей полупроводников: при нагревании их проводимость увеличивается, тогда как у проводников она уменьшается — увеличившиеся размахи колебания атомов затрудняют движение электронов. Конечно, и у полупроводников усиление колебаний атомов по мере нагревания затрудняет движение электронов, но это перекрывается увеличением числа свободных электронов, тогда как у проводников число свободных электронов при нагревании практически не увеличивается.

Образовавшиеся в полупроводнике вследствие нагревания или облучения свободные электроны образуют обычную электронную проводимость. Но есть большая группа полупроводников, для которых характерна проводимость несколько иного рода. В таких полупроводниках в результате нагревания или облучения тоже происходит вырывание электрона из атома. Атом, потерявший электрон, становится положительным ионом. Такой положительный ион под воздействием электрического поля притягивает недостающий электрон из соседнего «нормального» атома, превращая его тем самым в положительный ион. Этот ион в свою очередь заимствует недостающий электрон у следующего атома и т. д. Все атомы при этом остаются на своих местах,

но положительный ион как бы движется в сторону отрицательного полюса приложенного поля. Получается что-то подобное тому виду иллюминации, который называется

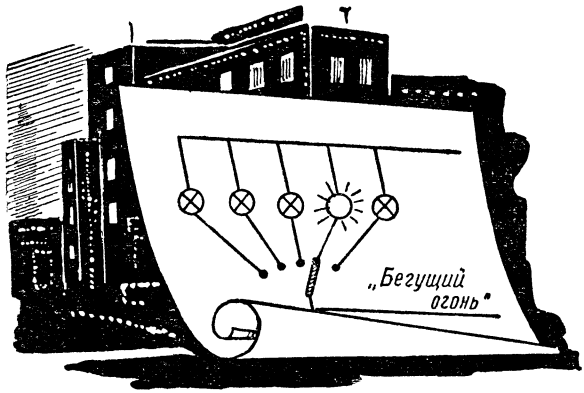



«бегущим огнем». Чтобы создать подобие движущегося огня, не надо обязательно передвигать лампу. Можно установить цепочку ламп и зажигать их по очереди.

Физики называют неподвижный положительный ион, т. е. атом с недостатком электрона, «дыркой», а ток, который создается в результате кажущегося движения «дырки», — «дырочным» током. Он отличается от ионного тока тем, что при ионном токе ионы действительно движутся.

В зависимости от рода полупроводника говорят, что он обладает «электронной» или «дырочной» проводимостью. У некоторых полупроводников соответствующей обработкой можно получить любой из этих двух видов проводимости. К таким полупроводникам принадлежит, например, германий. Его обработка состоит в основном в присадке в нужном количестве разных примесей. Примесные атомы, имеющие

во внешней оболочке на один электрон больше, чем атомы полупроводника, создают электронную проводимость. Если у примесных атомов на один электрон меньше, то это способствует образованию дырочной проводимости.

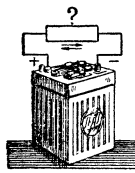



Обычная электронная проводимость металлов, ионная (и смешанная электронно-ионная) проводимость жидкостей и газов, электронная и дырочная проводимости полупроводников представляют собой четыре наиболее обычных вида проводимости, широко используемых в технике. Как видим, не всегда электрический ток образуется движением электронов и не всегда это движение подходит под понятие «потока». Дырочную проводимость можно скорее уподобить какой-то эстафете, но никак не потоку.

Но и рассмотренные четыре вида тока не исчерпывают всего их многообразия. Физики, например, получают мощные потоки протонов и ядер гелия (α-частицы), имеющих положительный заряд, движение которых поэтому представляет собой электрический ток. Некоторые атомные процессы сопровождаются появлением позитронов — положительных электронов, движение которых тоже является электрическим током. Вырисовываются возможности использовать образование тока в плазме — смеси электронов с атомными ядрами, полностью или почти полностью лишенных своих электронных оболочек. Электрический ток в плазме будущих магнитогидродинамических генераторов будет образовываться движением как электронов, так и положительно заряженных атомных ядер.

Таким образом, в наши дни на вопрос «что такое электрический ток?» следовало бы отвечать: это упорядоченное движение электрических зарядов.

---




## В КАКУЮ СТОРОНУ ТЕЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Можно ли ответить на этот вопрос?

В отдаленные времена, когда физики изучали сравнительно узкий круг известных им электрических явлений, были введены понятия положительного и отрицательного электричества. Знак плюс присвоили «стеклянному» электричеству — тому электрическому заряду, который возникает на стекле в результате натирания его шелком. Отрицательным электричеством стали считать «сургучное» — заряд, возникающий на сургуче, натертом шерстью. В дальнейшем условились считать, что электрический ток течет от плюса к минусу.

Такая терминология оказалась удобной. Она сохранилась до наших дней. На ее базе сформулированы все основные законы, правила и зависимости учения об электричестве.

Однако несоответствие подобной терминологии физической сущности электрических явлений стало очевидным уже в конце прошлого столетия, когда были открыты электроны. Это открытие показало, что электрический ток имеет «зернистую» структуру и представляет собой поток мельчайших отрицательных зарядов — электронов. Электроны движутся от минуса к плюсу, т. е. в направлении, обратном тому, какое было установлено на заре электротехники.

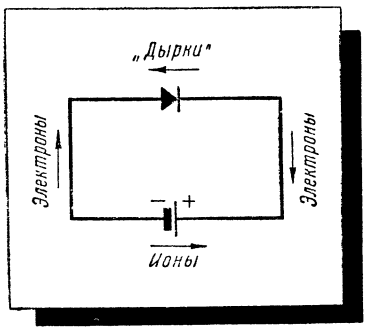
Это породило двойственность и путаницу. Во многих случаях, когда речь шла о направлении тока, приходилось специально оговаривать, как понимать направление: «по

току» или «по электронам». Особенно болезненно эта терминологическая двойственность чувствуется в радиоэлектронике, где для уяснения работы схем и приборов часто бывает необходимо учитывать именно направление движения электронов. Например, в какую сторону «проводит» электронная лампа? Если считать «по току», то лампа проводит от анода к катоду, а если «по электронам» — то от катода к аноду.

Иногда высказывается мысль о необходимости устранить двойственность терминологии и установить единообразие в представлении о направлении тока.

Можно ли осуществить подобное единообразие?

Это сделать не так легко, как кажется. Конечно, можно изъять из всей выходящей литературы упоминание о старом толковании направления течения тока от плюса к минусу и ввести... А что же ввести? Направление движения электронов? Это было бы просто и правильно сделать в том случае, если бы электрический ток образовывали одни электроны или вообще одни отрицательные заряды. Но известно, что существуют носители тока двух знаков и под воздействием одного и того же поля они движутся навстречу друг другу. Во внешней цепи гальванического элемента электроны движутся в одном направлении, а внутри элемента положительные ионы движутся в обратном направлении. Внутри полупроводника с дырочной проводимостью «дырки» текут в одном направлении, в проводах электроны текут навстречу им, а в источнике тока положительные ионы движутся навстречу в обратном направлении. В результате в двух участках замкнутой цепи носители тока перемещаются в одну сторону, а в двух других участках — в обратную.




Какое бы явление ни было положено в основу определения направления тока, например порождаемое током магнитное поле, все равно, как только дело дойдет до носителей тока, на сцену выступит двойственность. И, в частности,

станет ясно, что приводимые в учебниках «правила штопора» или «правила левой руки» верны только в отношении определенных носителей тока.

---

## Что такое отрицательное сопротивление

Под словом «сопротивление» в электротехнике и радиотехнике понимается сопротивление, оказываемое движению электрических зарядов той средой, в которой это движение происходит.

Существуют вещества, в которых движение зарядов почти невозможно. Такие вещества называются изоляторами. В ряде веществ движение зарядов весьма затруднено. Такие вещества получили название полупроводников. Значительное количество веществ относится к категории проводников. Они характерны тем, что движущиеся заряды встречают в них минимальное сопротивление. Однако даже самые лучшие проводники, такие, как серебро или медь, все же оказывают движению зарядов определенное сопротивление, на преодоление которого приходится расходовать энергию.

Возможны ли случаи, когда движение зарядов происходит без сопротивления?

Мы знаем два таких случая.

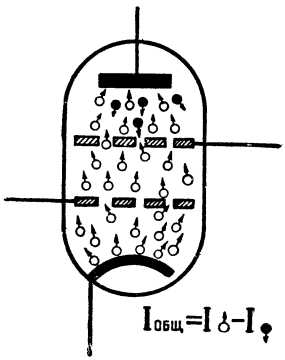
Первый из них — движение зарядов в таком пространстве, которое мы условно называем пустотой (см. стр. 18). Если в подобное пространство, например в баллон, из которого выкачан газ и в котором нет электрического и магнитного полей, ввести заряд (например, способом термоэмиссии) и сообщить ему некоторую скорость, то он будет двигаться с этой скоростью, не затрачивая запасенной энергии.

Второй случай отсутствия сопротивления наблюдается у некоторых металлов в сверхпроводящем состоянии.

Установлено, что ряд металлов, их сплавов и некоторых химических соединений при сильном охлаждении утрачивает сопротивление электрическому току, становится «сверхпроводником». К ним относятся, например, алюминий, свинец, цинк, уран, ртуть. Температуры, при которых наблюдается переход в сверхпроводящее состояние, колеблются в пределах примерно от 1 до 10 градусов абсолютной шкалы температур (нуль абсолютной шкалы соответствует температуре минус 273,16° С).

Физические явления, относящиеся к сверхпроводимости, еще окончательно не выяснены. Они зависят от особенностей кристаллической структуры проводников и связаны с уменьшением тепловых колебаний при понижении температуры, но бесспорными тщательными опытами подтверждено, что сопротивление материалов в сверхпроводящем состоянии равно нулю или во всяком случае чрезвычайно близко к нему. Ток, возбужденный в кольце из сверхпроводника, практически не уменьшается и циркулирует все время, пока поддерживается нужная температура.

Возможно ли сопротивление меньше нуля, т. е. сопротивление отрицательное? Попробуем рассмотреть этот вопрос с чисто физической точки зрения, не вдаваясь в его формально-теоретические математические аспекты.




В радиотехнике приходится встречаться с понятием отрицательного сопротивления.

Отрицательным сопротивлением объясняют известную особенность работы четырехэлектродной лампы (тетрода) в динатронном режиме. Эта особенность заключается в том, что при напряжениях на аноде, близких к напряжению на экранирующей сетке, повышение анодного напряжения вызывает не увеличение анодного тока лампы, а, наоборот, уменьшение его. По принятому толкованию действующее в цепи сопротивление является отрицательным.

В действительности это явление объясняется динатронным эффектом. Электроны, образующие анодный ток, ударяясь об анод, выбивают из него другие электроны, которые называются вторичными.

Вторичные электроны, получив в результате удара некоторый запас энергии, отлетают от анода по направлению к экранирующей сетке и могут настолько приблизиться к ней, что притягивающее действие экранирующей сетки превысит притягивающее действие анода. Поэтому такие электроны летят к экранирующей сетке, образуют в лампе ток, направленный навстречу основному анодному току, и уменьшают его. Действующий анодный ток равен разности двух указанных токов.

При увеличении анодного напряжения электроны с большей силой ударяются об анод и выбивают из него больше вторичных электронов, вылетающих с увеличенной скоростью. Поток вторичных электронов непропорционально возрастает — в итоге действующий анодный ток становится меньше.

При дальнейшем увеличении анодного напряжения явление прекращается, потому что выбитые из анода электроны снова притягиваются к нему и экранирующая сетка уже не может «перехватить» их.

Как видим, в данном случае нельзя усмотреть присутствия какого-либо сопротивления, обладающего необычным свойством. Суть явления заключается в возникновении второго потока электронов, направление которого противоположно направлению основного потока.

Не менее часто понятие отрицательного сопротивления используется для объяснения работы регенеративных приемников, гетеродинов и т. п.

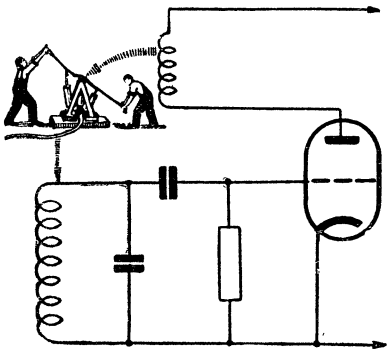
Это объяснение сводится к тому, что обратная связь вносит в колебательный контур отрицательное сопротивление и этим уменьшает его положительное сопротивление — сопротивление потерь. Когда отрицательное сопротивление по величине становится равным положительному, действующее сопротивление контура делается равным нулю. При дальнейшем возрастании вносимого отрицательного сопротивления общее сопротивление контура становится отрицательным. Контур с отрицательным сопротивлением превращается в генератор и становится источником колебаний.

В этом случае тоже нельзя говорить об отрицательном сопротивлении контура как о реально существующем. Сопротивление контура движению электрических зарядов остается неизменным при любом значении обратной связи.

Качающийся маятник, предоставленный самому себе, скоро остановится. Но мы можем сообщать маятнику толчки, совпадающие по частоте и направлению с его колебаниями.

Интенсивность толчков можно подобрать так, что они будут как раз компенсировать действие всех «сопротивлений» (сопротивление воздуха, трение в точке подвеса и т. д.), и колебания маятника из затухающих превратятся в незатухающие. Увеличив еще более силу толчков, мы превратим колебания маятника в нарастающие (их амплитуда будет увеличиваться) и сможем заставить его совершать какую-нибудь работу. Та дополнительная энергия подталкивания, которая расходовалась бы на увеличение амплитуды колебаний маятника, будет теперь расходоваться на совершение работы, а амплитуда колебаний останется постоянной.

По аналогии с колебательным контуром и в этом случае можно было бы считать, что все сопротивления, тормозившие ранее движение маятника, стали отрицательными и не только не тормозят его, а, наоборот, подгоняют. Однако мы знаем, что это не так: маятник, совершая работу, продолжает качаться только потому, что мы периодически пополняем толчками запас его энергии.



Подобным же образом пополняются потери энергии и в колебательном контуре. Поле катушки обратной связи, изменяясь в такт с электрическими колебаниями в контуре, поддерживает их, пополняя энергию, которая затрачивается на преодоление сопротивления контура и на излучение.

Понятие отрицательного сопротивления нередко привлекается для пояснения особенностей работы «генерирующих» кристаллических детекторов, к которым относится ряд детекторов от цинкитного детектора О. Лосева до современного германиевого диода, включая новейшие «туннельные» диоды. Генерирование таких детекторов объясняют наличием у их характеристики участка с отрицательным сопротивлением. При работе на таком участке характеристики увеличение текущего через детектор тока сопровождается не увеличением падения напряжения на детекторе, а уменьшением его.

Физические процессы, происходящие в детекторах подобного типа, полностью не прослежены, но ясно, что они вызывают в кристалле детектора (диода) возникновение дополнительного тока, по направлению совпадающего с основным. Например, в «туннельном» диоде при некоторых напряжениях ток растет значительно быстрее, чем в обычном диоде, из-за «туннельного» эффекта — прохода электронов, энергии которых недостаточно для преодоления потенциального барьера, сквозь некоторые «туннели» в этом барьере. При дальнейшем увеличении напряжения «туннельный» эффект уменьшается и затем исчезает совсем. Увеличение напряжения вследствие постепенного исчезновения «туннельного» эффекта на этом участке сопровождается уменьшением тока, а не увеличением его, как следовало бы. При более значительном увеличении напряжения работа «туннельного» диода не отличается от работы обычного диода. Поэтому на некотором участке его характеристики наблюдается уменьшение тока при увеличении напряжения.

Таким образом, сопротивление электрическому току может либо иметь какое-то определенное положительное значение, либо быть равным нулю. Отрицательного сопротивления как физического свойства вещества не существует, хотя отдельные цепи в результате происходящих в них процессов могут вести себя так, как если бы их сопротивление было отрицательным. Однако при этом в таких цепях обязательно находятся источники электрического тока, энергия которых и расходуется на поддержание всех происходящих в них процессов.

---

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В РАДИОАППАРАТУРЕ

Работа радиовещательной аппаратуры характерна большим числом преобразований одного вида энергии в другой. Когда, например, сельский радиослушатель включает свой приемник «Родина», в нем происходит ряд превращений

энергии. Химическая энергия гальванических элементов превращается в электрическую, электрическая в нитях накала ламп — в тепловую, причем тепловая энергия частично снова превращается в электрическую, разгоняя электроны до скорости, нужной для вылета их из нити, т. е. способствуя образованию анодного тока. В неоновой индикаторной лампочке электрическая энергия преобразуется отчасти в тепловую, нагревая газ и баллон лампочки, отчасти в световую, порождая известное всем красное свечение. Свечение нитей накала ламп приемника «Родина» является результатом трехкратного преобразования энергии: химической в электрическую, затем электрической в тепловую и, наконец, тепловой в световую. Последним звеном длинного ряда преобразований энергии является преобразование громкоговорителем электрической энергии в механическую — звуковую.

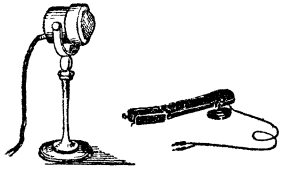
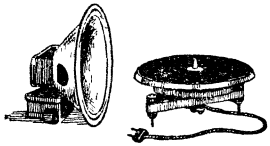
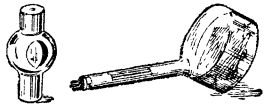
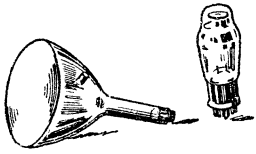
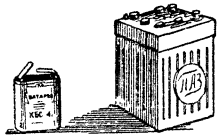
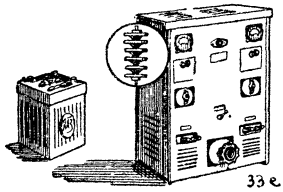
Работа любой радиоустановки богата примерами подобных преобразований.

В помещенной ниже таблице приведены 11 наиболее распространенных в радиоаппаратуре видов преобразования энергии.

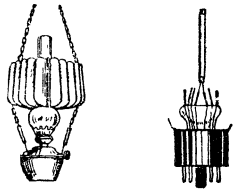
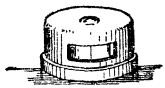
Во многих случаях между приведенными в таблице этапами есть еще несколько промежуточных и побочных. Например, в работе оптического индикатора настройки, приведенного в качестве примера преобразования электрической энергии в световую, можно насчитать ряд других преобразований: электрической в тепловую (нагрев катода), тепловой в световую (свечение катода) и электрическую (работа вылета), электрической в тепловую (нагрев анода) и световую (свечение экрана) и т. д.

Следует учитывать, что переход одного вида энергии в другой всегда сопровождается уменьшением количества первичного вида энергии вследствие различных потерь, в большинстве случаев на излучение тепла. Тепловая энергия катода затрачивается на разгон электронов до скорости, нужной для их вылета, и уменьшается на такую величину, какую унесли с собой вылетевшие электроны, а также на тепловое излучение.

В этом отношении интересен предпоследний из приведенных в таблице примеров преобразования энергии. При воспроизведении магнитофоном записи на магнитной ленте магнитная энергия ленты не уменьшается, в противном случае каждое последующее воспроизведение было бы

| Внешний вид | Виды преобразования энергии | Элементы аппаратуры |
|---|---|---|
|  | Механическая в электрическую | Электродинамический микрофон, граммофонный звукосниматель |
|  | Электрическая в механическую | Громкоговоритель, двигатель, электропроигрыватели, подвижная система измерительных приборов |
|  | Световая в электрическую | Фотоэлемент, иконоскоп |
|  | Электрическая в световую | Электронно-лучевые трубки телевизоров и осциллографов, оптический индикатор настройки |
|  | Химическая в электрическую | Гальванический элемент, аккумулятор (разрядка) |
|  | Электрическая в химическую | Аккумулятор (зарядка) |

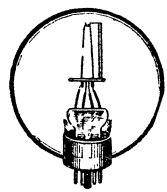
Продолжение

| Внешний вид | Виды преобразования энергии | Элементы аппаратуры |
|---|---|---|
|  | Тепловая в электрическую | Термоэлемент, катод (разгон электронов до скорости, нужной для вылета) |
| | Электрическая в тепловую | Нити накала радиоламп |
|  | Электрическая в магнитную | Записывающая головка магнитофона |
| | Магнитная в электрическую | Головка воспроизведения записи магнитофона |
| | Световая в электрическую | Солнечные батареи, фотоэлементы |

слабее предыдущего. Движущееся магнитное поле ленты за счет энергии мотора наводит в головке воспроизведения переменное магнитное поле, энергия которого и расходуется на создание в витках обмотки электрического тока. Преобразование магнитной энергии в электрическую происходит именно в последнем звене: магнитное поле головки — обмотка катушки, а не в звене магнитное поле ленты — обмотка головки, так как магнитное поле ленты не становится слабее.

---

## ПОЧЕМУ ПЕРЕГОРАЕТ НИТЬ НАКАЛА



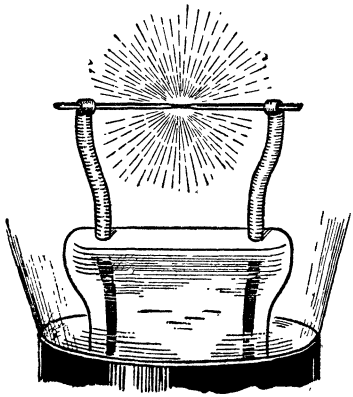
Почему у ламп перегорают нити накала или, выражаясь менее точно, но зато более кратко, почему перегорают лампы? Вы купили лампу, электронную или осветительную; она исправно работает некоторое время, но в конце концов перегорает, хотя условия ее работы не изменились — к ней всегда подводится одно и то же, нормальное для нее напряжение накала. В чем заключается «физика» этого перегорания, почему один и тот же ток, нормальный вначале, впоследствии оказывается для нити губительным?

Рассматривая перегоревшую осветительную лампу, мы замечаем, что баллон ее изнутри потемнел. Появление темного налета объясняется оседанием на стенках баллона паров вольфрама, из которого сделана нить. Нити накала осветительных ламп работают при температуре порядка 2 500° С. При такой температуре начинается заметное испарение вольфрама. Процесс перегорания нити обычно таков: толщина нити по всей ее длине не абсолютно одинакова: местами нить несколько толще, местами — тоньше. Там, где нить тоньше, ее сопротивление, естественно,

больше, вследствие чего это место нагревается сильнее (нагрев пропорционален величине сопротивления). Следовательно, и испарение ее в этом месте происходит интенсивнее, отчего нить еще больше утончается.

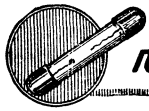
В итоге получается, что увеличение испарения влечет за собой ускоренное утончение нити, а это в свою очередь приводит к возрастанию испарения.

Процесс этот завершается перегоранием — расплавлением — нити в том месте, которое было наиболее тонким. Получается точно по пословице: где тонко, там и рвется. Естественно, что, кроме толщины нити, играют роль и условия ее охлаждения. Например, нити реже перегорают около держателей, способствующих отводу тепла. Если нить перегорит около держателя, то это означает, что толщина ее в этом месте была много меньше, чем на других участках.



Процесс испарения материала нити у электронных ламп менее заметен, чем у осветительных, потому что нити накала электронных ламп работают при меньших температурах. Но сам «механизм» перегорания у них такой же: наиболее интенсивное испарение металла нити происходит там, где она особенно тонка. Лампы прямого накала чаще перегорают, чем подогревные, потому что в лампах прямого накала нити обычно тоньше.

Совершенно очевидно, что даже небольшой перекал весьма укорачивает продолжительность жизни нити накала: процесс утончения тонких мест при перекале происходит с увеличенной интенсивностью. Для иллюстрации стоит привести одну цифру: увеличение испарения вольфрама при повышении его температуры пропорционально 38-й степени температуры, т. е. пропорционально $T^{38}$.



# ПРЕДОХРАНИТЕЛИ перегорают при включении

Очень редко случается, что предохранитель в радиоприемнике или телевизоре перегорает во время работы. Обыкновенно предохранитель перегорает в момент включения. Вчера Вы сами выключили свой приемник по окончании приема. Сегодня включаете его — не работает. Осмотр показывает, что перегорел предохранитель, следовательно это могло произойти только в момент включения.

Чем же это объясняется?

Нити накала ламп делаются из металла. Сопротивление металлов электрическому току при нагревании увеличивается. В этом легко убедиться. Чему, например, равно сопротивление нити накала лампы 6К4П. Мы знаем, что напряжение накала ее равно 6,3 *в*, а ток 0,3 *а*. Отсюда по закону Ома определяем сопротивление:

$$R = 6{,}3 : 0{,}3 = 21 \text{ ом}.$$

Вооружимся омметром и измерим сопротивление нити накала этой лампы, приложив его щупы к штырькам 3 и 4. Омметр покажет всего 4 *ом*.

Чему же верить — вычислению или измерению?

И тому, и другому. Обе величины правильны.

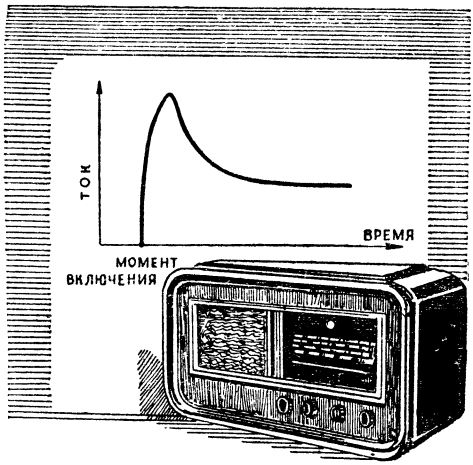
Омметр показал нам сопротивление холодной нити, а расчет мы производили применительно к нормальному режиму работы лампы, так как именно в этих условиях ток накала ее равен 0,3 *а*. Сопротивление холодной нити накала равно 4 *ом*, «горячей» — 21 *ом*.

Мы можем проделать такой же опыт и с осветительной лампой. Стоваттная 127-вольтовая лампа имеет расчетное сопротивление 160 *ом*, а омметр при измерении сопротивления холодной нити покажет всего 13 *ом* — в 12 с лишним раз меньше расчетной величины.

Если бы сопротивление нити накала лампы 6К4П при нагревании не увеличивалось, то ток накала ее был бы равен не 0,3, а 1,5 *а*.

В момент включения нити ламп не нагреты, поэтому через них течет очень сильный ток, в несколько раз превышающий нормальный ток накала. По мере разогрева

нитей сопротивление их увеличивается и ток уменьшается. Ток будет наибольшим в момент включения, когда нити накала еще совсем не нагреты и сопротивление их минимально. Поэтому в момент включения приемника, телевизора или усилителя наблюдается бросок тока, по величине в несколько раз превышающий ток, потребляемый в нормальном установившемся режиме.




Этот бросок тока может пережечь предохранитель, если он взят без должного запаса или если имевшийся запас оказался утраченным.

Может случиться, что запас прочности предохранителя невелик, т. е. ток, пережигающий предохранитель (ток плавления его проволочки), лишь немногим превышает нормальный бросок тока, получающийся при включении аппарата. В таком случае достаточно некоторого увеличения напряжения сети относительно его номинальной величины, чтобы предохранитель в момент включения перегорел.

Бывает и так, что вначале предохранитель имел нужный запас прочности, но с течением времени те же причины, которые приводят к перегоранию нитей накала (см. стр. 49), способствовали образованию у проволочки предохранителя участков с меньшим диаметром. Эта проволочка не находится в вакууме; при нагревании она окисляется и диаметр

ее уменьшается. В конце концов на каком-нибудь из участков проволочки диаметр настолько уменьшается, что она не выдерживает тока включения приемника и перегорает. Поэтому предохранители обычно перегорают не сразу после установки, а спустя некоторое время с начала их эксплуатации.

Таким образом, предохранители чаще всего перегорают при включении аппарата. Но в некоторых случаях они могут перегорать и при его выключении.

В момент выключения развиваются экстратоки, которые и пережигают предохранитель. В приемниках с полупроводниковыми триодами экстратоки часто выводят из строя и эти триоды, если не приняты специальные меры.

---

## Где скрыто сопротивление ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

Электронная лампа известна всем. Это необходимая деталь каждого радиоприемника, телевизора, магнитофона, если не считать, конечно, тех, где она заменена транзисторами. Каждая лампа нуждается в электропитании и потребляет от источников питания ток.

Величина тока накала зависит от данных нити накала лампы — ее сопротивления в рабочем (нагретом) состоянии и напряжения источника питания. А от чего зависит величина анодного тока, текущего через лампу?

Вопрос, как будто, нетрудный. Величина тока в цепи равна величине подведенного к ней напряжения, деленной на величину сопротивления цепи. Если к электронной лампе подвести, допустим, 100 *в*, приложив плюс к аноду, а минус к катоду, то через лампу потечет ток, величина которого определится сопротивлением лампы.

Но тут человека, знающего электротехнику и начинающего знакомиться с радиотехникой, подстерегают неожиданные трудности. В самом деле, что является сопротивлением в электронной лампе? Пространство между анодом и

катодом лампы пусто, из него выкачан воздух (фактически откачка не бывает идеальной, и в баллоне лампы есть остатки газа, но они в нашем примере не играют роли). А чему же равно сопротивление пустоты?

Знакомая человеку электротехника этот вопрос обходила молчанием, она его не рассматривала. Вот твердое вещество, жидкое, газообразное, пусть даже плазма — здесь все достаточно ясно! Изоляторы, проводники, полупроводники — все это тоже известно! А пустота? Какое же сопротивление там, где «ничего нет»?

Наш электрик может попробовать рассуждать, например, так.

Очевидно, пустота — изолятор. Ведь электрический ток представляет собой движение зарядов, а в пустоте зарядов нет, поэтому и ток в ней возникнуть не может. А раз так, то, значит, пустота — изолятор. Это, кстати, легко проверить. Возьмем электронную лампу и приложим щупы омметра к ее аноду и катоду — прибор ничего не покажет. Сопротивление промежутка анод — катод равно бесконечности. Следовательно, пустота — изолятор.

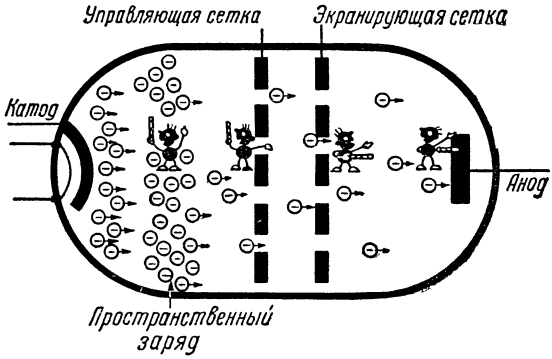
Однако, подумав, наш электрик сообразит, что тут что-то не то. Ведь лампа-то работает, значит через пустоту ее внутреннего пространства ток проходит. Да и не только в лампе. Например, последние достижения в изучении космического пространства показали, что некоторые процессы на Солнце сопровождаются извержением электронов, которые через пустоту межпланетного пространства прекрасно достигают Земли. А ведь движение электрона — это ток. Значит, пустота — не изолятор. Пожалуй, даже наоборот. Заряды, двигаясь в ней, не встречают препятствия. Значит, у пустоты вроде нет никакого сопротивления.

Следовательно, заряды двигаться в пустоте могут. Но все же пустота по сравнению с проводниками, полупроводниками и изоляторами является особой средой. И в проводнике, и в полупроводнике, и в изоляторе заряды есть. Мы рассматриваем проводимость этих материалов с точки зрения возможности движения тех зарядов, которые там уже есть. А в пустоте их нет, но если ввести их туда, то они смогут двигаться там с меньшими препятствиями, чем в любой другой среде.

Из этого уже легко понять, чем определяется величина тока, текущего через электронную лампу. В пространство между ее катодом и анодом вводятся электроны, для чего

используется термоэмиссия катода: катод нагревается и испускает электроны. Если все излучаемые катодом электроны достигнут анода, то соответствующий ток будет наибольшим. После этого можно увеличивать анодное напряжение, но анодный ток возрастать не будет.

В действительных условиях работы лампы вся эмиссия катода не используется, фактический анодный ток бывает меньше тока эмиссии катода. Представим себя на месте электрона, вылетевшего из катода. Мы испытываем притяжение положительно заряженного анода, но одновременно испытываем и отталкивание тех электронов, которые вылетели раньше нас и в своем движении к аноду находятся




между нами и анодом (ведь у этих электронов заряд отрицательный). Это еще не все. Мы получили при вылете некоторую скорость, благодаря чему отлетели от катода на некоторое расстояние. Теперь между нами и катодом есть некоторое количество электронов, вылетевших позже, которые отталкивают нас от катода. А в самом катоде есть положительные ионы, которые притягивают нас к себе.

Таким образом, на вылетевший из катода электрон действуют противоположные силы: полученная при вылете скорость увлекает его к аноду, положительное напряжение на аноде стремится продвинуть его туда же, электроны, вылетевшие ранее, отталкивают его обратно к катоду, электроны, вылетевшие позже, отталкивают его к аноду, положительные ионы, имеющиеся в катоде, притягивают его к катоду.

Очень сложно? Да, сложно! Но это еще не все. На пути между катодом и анодом есть одна или несколько сеток,

потенциал которых помогает электронам лететь к аноду (положительный потенциал) или же препятствует этому (отрицательный потенциал). От результирующего действия всех этих причин и зависит то количество электронов (из числа вылетающих из катода), которое доберется до анода, образуя анодный ток лампы. Остальные вылетевшие из катода электроны будут отчасти пополнять облачко между катодом и сеткой, отчасти же (наименее быстрые) будут падать обратно на катод.

Вот от каких причин зависит величина тока, текущего через лампу. Если мы хотим по привычке сказать, что величина тока в анодной цепи лампы зависит от величины анодного напряжения и сопротивления лампы, то суммарное действие всех указанных причин (плюс величину эмиссии катода) мы должны будем считать сопротивлением лампы. Тогда мы вполне логично можем сказать, что сопротивление лампы — это переменное сопротивление, потому что достаточно чуть изменить, например, потенциал ее сетки, как анодный ток лампы станет больше или меньше (полагаем, конечно, что эмиссия лампы еще не исчерпана). Изменяя потенциал сетки, можно изменять анодный ток лампы от нуля (лампа «заперта») до наибольшего значения, когда используется вся эмиссия катода.

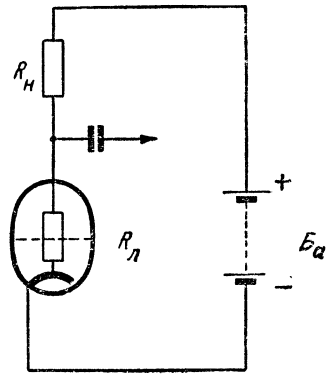
---

Почему применение электронных ламп дает возможность усиливать электрические колебания? Ниже приводится один из способов объяснения этой особенности электронных ламп.

Электрическая цепь усилительного каскада состоит из источника тока, лампы и нагрузочного сопротивления (источник питания накала лампы не имеет принципиального значения, и мы рассматривать его не будем).

Чем определяется величина тока, текущего в рассматриваемой цепи? Напряжение анодного питания $Б_a$ постоянно.

Нагрузочное сопротивление $R_н$ тоже не изменяется. Остается, следовательно, только одно сопротивление — лампа $R_л$. Очевидно, величина тока в цепи зависит от этого сопротивления.

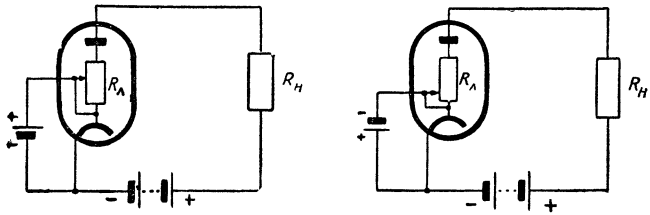



В предыдущем очерке мы говорили о том, что сопротивление лампы необычно. Его физически нельзя приравнять к проводникам, полупроводникам или изоляторам. Величина тока, текущего через лампу в нормальных условиях: при присоединении к ней источника анодного питания плюсом к аноду и минусом к катоду, зависит от ряда рассмотренных выше условий. Поскольку величина напряжения источника анодного питания, эмиссия катода и другие условия в процессе работы лампы не изменяются, величина тока через нее определяется только потенциалом сетки. Наше сравнение лампы с переменным сопротивлением позволит нам наглядно объяснить механизм усиления лампового каскада. Такое толкование, возможно, поможет читателю нагляднее представить себе картину того, что происходит в радиолампе, и почему она усиливает.

Итак, наш каскад состоит из источника анодного питания, лампы и нагрузочного сопротивления. Лампу мы считаем переменным сопротивлением, величина которого определяется потенциалом сетки лампы $R_л$. При отсутствии сигнала потенциал сетки постоянен и напряжение распределяется в цепи в соответствии с величинами сопротивлений $R_н$ и $R_л$. При равенстве их падение напряжения на них будет одинаковым.

Что произойдет, если на сетку лампы поступит сигнал и начнет изменять величину ее потенциала, а вместе с тем и величину сопротивления лампы $R_л$? Очевидно, что при этом будет происходить перераспределение падений напряжения в цепи. Если сопротивление $R_л$ станет меньше (потенциал сетки стал более положительным), то падение напряжения на $R_л$ уменьшится, а на $R_н$ увеличится. При изменении потенциала сетки в обратную сторону произойдет обратное: падение напряжения на $R_н$ уменьшится.

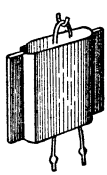
Таким образом, колебание напряжения на сетке приведет к колебаниям напряжения на нагрузочном сопротивлении $R_н$. Форма этих колебаний будет практически одинаковой, т. е. колебание напряжения на $R_н$ достаточно повторит колебание потенциала сетки и связанного с ним изменения величины $R_л$.




Малое изменение потенциала сетки (малое напряжение сигнала) значительно изменяет величину $R_л$, вследствие чего соответственно изменяется и падение напряжения на нагрузочном сопротивлении $R_н$. А это колебание напряжения на $R_н$ представляет собой выходное напряжение каскада. Получается, что небольшое напряжение сигнала (переменное напряжение) вызывает возникновение на нагрузочном сопротивлении $R_н$ при достаточной величине его переменного напряжения по характеру изменения совершенно такого же, но с гораздо большей амплитудой, т. е. усиленного.

Так усиливает ламповый каскад. Усиление это происходит за счет расходования энергии анодного питания: увеличение тока через лампу приводит к увеличению отдачи энергии источником питания.

---



## Почему греются АНОДЫ

Аноды усилительных ламп во время работы сильно греются. У мощных усилительных ламп они нагреваются настолько, что раскаляются докрасна. У больших генера-

торных ламп необходимо специальное охлаждение анодов — водяное или воздушное, иначе они могут расплавиться.

Почему же аноды греются?

Ответ, как будто, не вызывает затруднений: нагрев производит электрический ток. Через лампу течет анодный ток и разогревает анод, все электроды, через которые он проходит, и вообще всю лампу. Прохождение электрического тока всегда сопровождается выделением тепла. Петербургский ученый Ленц и одновременно с ним англичанин Джоуль вывели известный в физике закон, гласящий, что при прохождении тока в цепи выделяется тепло в количестве

$$Q = 0{,}24\, RI^2\, t \text{ калорий},$$

где $R$ — сопротивление цепи;

$I$ — величина тока;

$t$ — время.

Эта формула не вызывает сомнений, но в нее входит $R$. Где же в нашем случае это $R$?

Действительно, для того чтобы энергия электрического тока превратилась в тепло, надо, чтобы ток встретил на своем пути сопротивление. Образующие электрический ток электроны, сталкиваясь с частицами вещества, отдают им свою энергию, увеличивая размах их колебаний или скорость, а это и есть то, что мы называем нагреванием.

Но в лампе нам не удастся найти сопротивление, пригодное для выделения в нем тепла. Пространство между катодом и анодом электроны пролетают почти без столкновений, поэтому тепло в нем не выделяется (см. стр. 25). Остается анод. Анодный ток, безусловно, течет через анод, который представляет собой определенное электрическое сопротивление.

Но это сопротивление чрезвычайно мало, и выделяющееся в нем тепло ничтожно. В этом легко убедиться на опыте. Анодный ток оконечной лампы радиоприемника, например 6П3С, бывает около 50 *ма*. Возьмите негод-

ную лампу 6П3С, разбейте ее баллон, выньте анод и включите его в цепь, в которой будет поддерживаться ток 50 *ма*. Вы увидите; что анод совершенно не нагревается. Этот результат легко подтвердить вычислением. Сопротивление анода оконечной лампы равно примерно 0,01 *ом*, анодный ток — около 0,05 *а*. Из приведенной выше формулы Джоуля — Ленца следует, что в течение секунды при таком токе на аноде выделится 0,000006 *кал*. Надо в течение 46 *ч* поддерживать ток 50 *ма*, чтобы на аноде выделилось такое количество тепла, какое нужно для нагрева 1 $см^3$ воды на 1° С. Поэтому о сколько-нибудь заметном нагревании анода анодным током говорить не приходится.

А все-таки анод нагревается. И нагревается очень сильно. В чем же тут дело?

Анод нагревается анодным током, но это не то обычное нагревание, какое производит ток, проходя по проводнику. Анод нагревается в результате резкого торможения электронов.

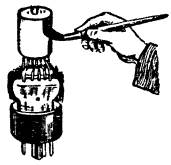
Электроны несутся в пространстве катод — анод со скоростью, измеряемой тысячами километров в секунду (см. стр. 31). Достигнув анода, они продолжают движение в нем, но уже со скоростью, измеряемой миллиметрами в секунду. На поверхности анода происходит резкое торможение электронов, электроны ударяются о частицы материала анода и отдают им свою энергию движения. В результате кинетическая энергия превращается в тепловую и анод нагревается.

С таким нагревом ударами мы часто встречаемся в жизни. Возьмите молоток и сильно ударьте им несколько раз по куску металла — металл заметно нагреется. Так и электроны, в несметном количестве ударяясь об анод, нагревают его.

Разумеется, по своей основной сути «механизм» нагревания в этом случае такой же, как и при прохождении тока через сопротивление: электроны, сталкиваясь с частицами вещества, отдают им свою энергию. Но скорость электронов здесь больше, поэтому и выделение тепла при торможении их тоже больше.

Вообще количество тепла, которое выделяется при торможении быстро движущихся частиц, огромно. Например, камень или железо, ударяясь при скорости больше 5 000 *м/сек* о препятствие, ведут себя, как взрывчатое вещество, и моментально превращаются в раскаленные газы. Очень яркий пример на этот счет приведен также на стр. 280.

# Что дает чернение анодов



В результате электронной бомбардировки аноды ламп нагреваются. Это опасно в двух отношениях. Во-первых, при слишком высокой температуре анода из металла может начать выделяться газ. Во-вторых, нагрев анода создает дополнительный нагрев катода. Для оксидных катодов, работающих при сравнительно низкой температуре, это может оказаться губительным, потому что оксидные катоды при перегреве быстро теряют эмиссию.

Как можно уменьшить нагрев анода?

Самый простой способ — увеличить поверхность анода, с тем чтобы на каждый квадратный сантиметр его приходилась меньшая мощность рассеяния. Но этот способ связан с увеличением общих размеров лампы, что удорожает ее и увеличивает размеры аппаратуры. Чтобы понизить температуру анода, не увеличивая его размеров, надо найти возможность отводить выделяющееся на нем тепло. Поскольку анод находится в вакууме, осуществить отвод тепла можно только лучеиспусканием.

Из физики известно, что наилучшим лучеиспусканием обладают черные тела. Эта особенность и использована для охлаждения анодов. Опыты показали, что черненые аноды нагреваются значительно меньше нечерненных, выполненных из такого же материала.

Аноды приемно-усилительных ламп делаются из никеля. Существует несколько способов чернения никеля. Лучшие результаты в отношении лучеиспускания дает карбонизация — нанесение на поверхность никеля тонкого слоя углерода, осуществляемое путем отжига никеля в парах бензола и водорода.

Карбонизированный анод выдерживает в 4—5 раз большую мощность, чем некарбонизированный. Применение таких анодов позволило значительно уменьшить размеры ламп для усиления мощности. У малогабаритных ламп, имеющих электроды малых размеров, приходится чернить аноды не только выходных, но и всех вообще ламп.

# Голубое свечение электродов

Если снять заднюю стенку работающего приемника, то нередко можно увидеть красивую картину — свечение анода, а иногда и баллона лампы голубым светом. По своему характеру оно напоминает свечение электродов неоновых ламп. У неоновых ламп электроды как бы покрыты «слоем» красного света толщиной 1—2 *мм*. Такой же светящийся «слой» образуется и у электродов оконечных ламп радиоприемников, только он кажется несколько более тонким, часто бывает несплошным, образуя пятна различной величины и формы, и окрашен в очень красивый голубой цвет.

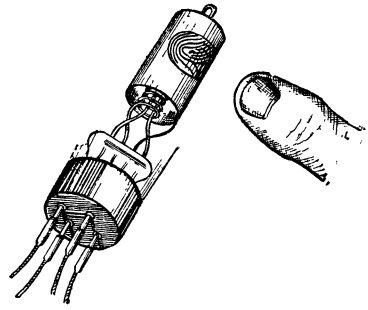
Светящийся «слой» нестабилен. Он пульсирует в такт с радиопередачей.

Среди радиолюбителей и радиослушателей широко распространено убеждение, что это свечение обусловлено наличием в баллоне лампы газа. Поэтому свечение считают признаком брака лампы.

На самом деле такое свечение объясняется не присутствием в лампе остатков газа, а люминесценцией, т. е. тем же физическим явлением, которое вызывает свечение экрана электроннолучевых трубок, оптического индикатора настройки и т. п. Одинакова и причина возникновения люминесценции — бомбардировка потоком электронов. Электроны, с силой ударяясь о молекулы люминесцирующего вещества, приводят их в «возбужденное» состояние, которое выражается в том, что один из электронов атома перескакивает со своей орбиты (оболочки) на другую, характеризующуюся бóльшим энергетическим уровнем. Возвращаясь на свою орбиту, электрон выделяет излишек энергии в виде излучения фотона или светового кванта — мельчайшей «частицы» света.

Что же в данном случае является люминофором — светящимся веществом? Таким люминофором являются осевшие на электроды и стенки баллона испарения оксидного слоя катода, и «геттера» — вещества, распыленного в баллоне для улучшения вакуума.

Откуда же берутся электроны, «возбуждающие» люминофор? Чем объяснить то, что светится не только внутренняя поверхность анода, но часто и внешняя поверхность его, а иногда и внутренняя часть баллона?



Внутренняя часть анода ламп светится под прямым воздействием анодного тока. Следует учесть, что не все электроны, вылетающие из катода, достигают анода. Часть их пролетает мимо, с силой ударяется о стекло баллона и выбивает из него вторичные электроны (так называемый динатронный эффект). Эти электроны притягиваются анодом, ударяются о его внешнюю поверхность и заставляют светиться покрывающий его случайный люминофор. Ударяясь о стекло, электроны заставляют светиться и его. Поток электронов пульсирует в соответствии с изменениями потенциала управляющей сетки и напряжения на аноде. Эта пульсация физически представляет собой изменение скорости и числа электронов, составляющих анодный ток. Естественно, что вместе с этим изменяется и свечение, яркость которого находится в прямой зависимости от числа и скорости электронов, бомбардирующих люминофор.

Легко объяснить и то, что свечение электродов наблюдается преимущественно у оконечных ламп. У этих ламп мощный катод, высокое анодное напряжение и большой анодный ток. Электроды оконечных ламп расположены дальше от катода, чем у малых приемно-усилительных ламп, что создает более благоприятные условия для проскакивания электронов мимо анода. Кроме того, именно оконечные лампы имеют обычно стеклянные баллоны, сквозь которые хорошо видно свечение.

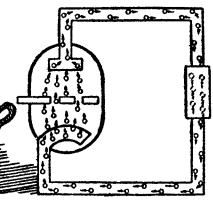
Таким образом, хотя свечение электродов ламп и нельзя назвать нормальным явлением, поскольку оно объясняется загрязнением электродов и баллона посторонними веществами, его нельзя считать и существенным недостатком, ухудшающим работу лампы и предвещающим близкую порчу ее.

Но это не значит, что в лампах не может быть газа. Иногда «газовые» лампы действительно попадаются. Но

в них светится не поверхность электродов или некоторые части баллона, а все внутреннее пространство лампы. Такие лампы дают сильно искаженный прием и обычно весьма быстро выходят из строя. Цвет свечения бывает различным в зависимости от рода газа, выделившегося в лампе. Часто он бывает голубым (воздух), но бывает свечение и фиолетовых оттенков, иногда розово-голубое или красно-фиолетовое.

---

## Куда деваются электроны?



Электроны, движущиеся в проводнике и образующие своим движением электрический ток, имеют (см. стр. 27) очень небольшую среднюю скорость. При таких напряжениях, какие применяются в радиоаппаратуре, скорость движения электронов измеряется миллиметрами в секунду.

Зато в вакууме электронной лампы — в пространстве между ее катодом и анодом — электронам открывается свободный путь (см. стр. 31). Скорость движения электронов в межэлектродном пространстве лампы определяется начальной скоростью вылета их из катода и ускоряющим действием анодного напряжения и напряжений на сетках. Фактически в междуэлектродном пространстве наших приемно-усилительных радиоламп электроны движутся со скоростью порядка 5 000—10 000 *км/ч*.

При сопоставлении скоростей движения электронов в проводах и в междуэлектродном пространстве лампы естественно возникает вопрос: куда же деваются электроны, с огромной скоростью пронесшиеся через пространство анод — катод лампы? Ведь электроны, достигнув анода, сразу замедляют свое движение. Они начинают двигаться медленно, а на анод все с той же громадной скоростью прибывают все новые тучи электронов. В результате электроны должны накапливаться на поверхности анода, потому

что при малой скорости движения их в металле они не будут успевать стекать с него.

Возникает также другой вопрос: откуда берутся электроны, образующие анодный ток лампы?

Как же разрешается эта «загадка» анодного тока радиолампы?

Конечно, такие рассуждения неверны. Вспомним, чем определяется величина тока. Она определяется числом электронов, протекающих за секунду через поперечное сечение проводника. В любой точке цепи электронной лампы (в любой точке соединительных проводов, катоде, аноде, источниках питания и пространстве катод — анод) через поперечное сечение протекает одинаковое число электронов — величина тока в любой точке цепи одинакова.

В чем же заключалась ошибочность наших рассуждений? Мы пришли к неправильному выводу, заключив, что чем больше скорость электронов, тем больше будет проноситься их за секунду через поперечное сечение проводника. Это заключение было неверным. Поясним это на примере.

Предположим, что по дороге движется колонна людей, идущих рядами по 10 чел. в ряду. Чтобы ряды не мешали

друг другу, между ними соблюдается интервал 1 *м*. Наблюдатель, стоящий у дороги, видит, что через ее поперечное сечение за 1 *сек* проходят 10 чел. — один ряд. Так как в течение секунды по дороге должен пройти один ряд, а ряд от ряда отстоит на 1 *м*, очевидно, что ряды должны двигаться со скоростью 1 *м/сек* = 3 600 *м/ч* = 3,6 *км/ч*.

На пути колонны есть узкий мост, через который может идти только 1 чел. Ясно, что ряд, дойдя до моста, должен

будет остановиться и начать переход по 1 чел. Столь же очевидно, что для того чтобы у моста не создалась пробка и люди, перешедшие мост, успевали снова построиться и продолжать движение прежним темпом, им придется по мосту бежать. Для простоты будем считать, что вся перестройка осуществляется мгновенно и что бегущие люди соблюдают прежний интервал 1 *м*. В этом случае весь ряд, вытянувшийся в цепочку, должен будет перебежать мост за 1 *сек*, а каждый из членов этого ряда будет иметь на пробег всего 0,1 *сек*. Если длина моста 1 *м*, то для преодоления его за 0,1 *сек* бегун должен будет развить скорость 36 *км/ч*.

В результате на нашей дороге ничего не изменится. В любом месте дороги, в том числе и на мосту, будет проходить 10 чел. в секунду. Но скорость движения не будет одинаковой. На дороге она будет составлять 3,6 *км/ч*, а на мосту 36 *км/ч*.

Так же обстоит дело и в электронной лампе. В любом месте анодной цепи лампы за одинаковый отрезок времени проходит одинаковое число электронов. Но «густота» их неодинакова. В проводах они движутся медленно «густой массой». В междуэлектродном пространстве лампы «строй» их становится более редким. Поэтому, чтобы наверстать потерю, образовавшуюся из-за разрежения их рядов, электронам приходится двигаться быстрее.

---

Электромагнитные колебания, используемые для радиопередач, характеризуют длиной волны или частотой. Пожалуй, большинству радиолюбителей и радиослушателей более привычны и понятны длины волн, а не частоты. Длины волн, например: 1 200, 300 и 42 *м*, «понятнее», чем соответствующие им частоты: 250 и 1 000 *кгц* и 7,145 *Мгц*.

Но звуковые колебания мы привыкли определять только частотой. Что говорит Вам выражение «звуковая волна длиной 2 *м*? Низкий это тон или высокий? Сразу трудно даже сообразить, можем мы слышать звук с такой длиной волны или не можем.

Между тем звуковые колебания, так же как и электромагнитные, можно характеризовать как частотой, так и длиной волны. Для того чтобы узнать длину электромагнитной волны, надо скорость распространения радиоволн разделить на частоту.

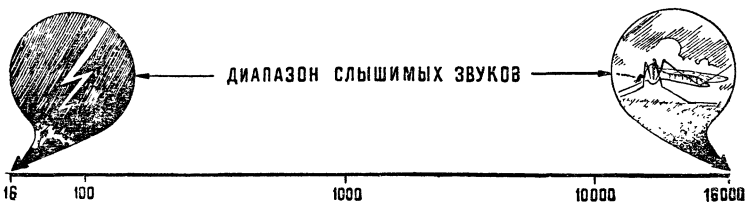
Точно так же надо поступить и для определения длины звуковой волны.

Скорость распространения звуковых волн в воздухе при $+15°$ С и нормальном атмосферном давлении 760 *мм рт. ст.* равна 340 *м/сек*. Следовательно,

$$\lambda \text{ (длина волны в метрах)} = \frac{340}{\text{(частота в герцах)}}.$$

Из этого выражения легко найти, что длине звуковой волны 2 *м* соответствует частота звука 170 *гц*, так как 340 : 170 = 2. Значит, звуковые волны длиной 2 *м* мы слышать можем. 170 *гц* — довольно низкий тон; это примерно самый низкий тон, какой может воспроизвести женский голос.

Какой же длины звуковые волны мы слышим?




Частотный диапазон органов слуха у разных людей неодинаков, в особенности у верхней границы его. Не все слышат писк комара или летучей мыши, трескотню цикад, которым соответствуют частоты 12 000—16 000 *гц*. Иные могут наслаждаться полной тишиной южного парка, в то время как для других он будет наполнен трескотней цикад и писком мошкары. Но в среднем человек слышит частоты от 15—16 до 16 000 *гц*. Этим частотам соответствуют длины

волн от 21 *м* до 2,1 *см*. Раскаты грома имеют длину волны около 21 *м*, а комариный писк — около 2 *см*.

Человеческий голос способен производить звуковые волны длиной примерно от 4 *м* до 28 *см*, считая по основным частотам. Однако звуки нашего голоса содержат много высших тонов (обертонов), придающих ему тембровую окраску, благодаря чему мы можем узнавать человека по голосу. Длина волны обертонов значительно короче основных частот. Общее представление о спектре человеческого голоса может дать следующая таблица.

| Голос | Самый низкий тон | | Самый высокий тон | | Обертоны до | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Частота, *гц* | Длина волны, *см* | Частота, *гц* | Длина волны, *см* | Частота, *гц* | Длина волны, *см* |
| Мужской . . . . | 80 | 425 | 500 | 68 | 8 000 | 4,2 |
| Женский . . . . | 170 | 200 | 1 200 | 28 | 10 000 | 3,4 |

Наши лучшие радиоприемники воспроизводят без большого ослабления по краям звуковые волны от 5,67 *м* до 3,4 *см* (60 — 10 000 *гц*).

---

## λ Длина волны и частота F

Звуковые волны мы обычно характеризуем частотой, а не длиной. Объясняется это действительно только привычкой или же нас принуждают к этому какие-либо более веские обстоятельства?

Длина звуковой волны (обозначим ее через λ) зависит от скорости распространения звука. Ее можно определить по формуле

$$\lambda = \frac{v}{F},$$

где через $F$ обозначена частота колебаний.

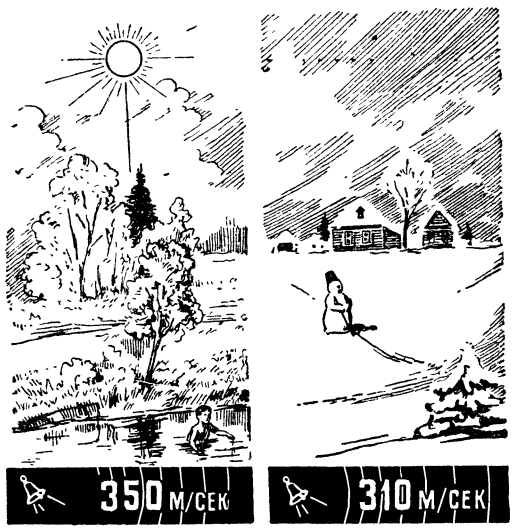
Скорость звука в воздухе — величина переменная и зависит от ряда причин: температуры, атмосферного давле-

ния, влажности. Ниже приводится таблица, в которой указаны скорость распространения звуковых волн в сухом воздухе при нормальном атмосферном давлении, а также соответствующая этой скорости длина звуковой волны.

| Температура по 100-градусной шкале | Скорость распространения звуковых волн, *м/сек* | Длина звуковой волны для частоты 1 000 *гц*, *см/сек* |
|---|---|---|
| — 182 | 181,5 | 18,1 |
| — 45 | 305,6 | 30,6 |
| — 20 | 318 | 31,8 |
| 0 | 331 | 33,1 |
| + 15 | 340 | 34 |
| + 20 | 342,5 | 34,3 |
| + 100 | 387,3 | 38,7 |

Числа третьей колонки вычисляются по приведенной выше формуле путем деления $v$ на $F = 1\,000$ *гц*.

Из этой таблицы видно, что скорость звука, а вместе с нею и длина звуковой волны довольно сильно зависят от




температуры. В том интервале температур воздуха, какой фактически наблюдается в условиях средних широт, скорость звука изменяется примерно на 15%. Так как на ско-

рость звука оказывает влияние не только температура, но и степень влажности воздуха и величина атмосферного давления (с увеличением влажности и давления скорость звука увеличивается), фактически возможные изменения длины звуковых волн будут еще больше.

Из сказанного можно сделать вывод, что если бы мы захотели характеризовать звук длиной волны, то нам пришлось бы специально оговаривать температуру, влажность и другие условия, без чего нельзя было бы связать длину волны с каким-нибудь определенным тоном.

В большинстве твердых и жидких тел звук распространяется значительно быстрее, чем в воздухе. Ниже приводятся скорости звука и длины звуковых волн в разных средах.

| Вещество | Скорость звуковых волн, *м/сек* | Длина звуковой волны для частоты 1 000 *гц*, *см* |
|---|---|---|
| Вода | 1 540 | 154 |
| Сталь | 5 200 | 520 |
| Стекло | 5 300 | 530 |
| Дерево (вдоль волокна) в среднем | 5 000 | 500 |
| Свинец | 1 230 | 123 |
| Резина | 50 | 5 |

Как видно из таблицы, в резине скорость звуковых волн примерно в 7 раз меньше, чем в воздухе при обычных температурах, а в стали, стекле и дереве она примерно в 15 раз больше.

Скорость распространения электромагнитных колебаний в пустоте и воздухе практически одинакова и не зависит от температуры, давления и других причин. Но если бы нам пришлось иметь дело с распространением электромагнитных волн в другой среде, где скорость их отличается на заметную величину, то пользоваться длиной волны уже было бы неудобно, так как длины волн не соответствовали бы привычным нам частотам.

Приведем один пример. Скорость радиоволн в пустоте, как известно, равна 300 000 *км/сек* (точнее, 299 776 *км/сек*), а в воде — в 9 раз меньше. Частоте 1 000 *кгц* в пустоте и воздухе соответствует длина волны 300 *м*, а в воде — 33 *м*. Как видим, разница весьма существенная. Этим объясняются малые размеры телевизионных антенн, погруженных в жидкость.

Сравнительно немногие живые существа, населяющие нашу планету, могут похвастать тем, что они упоминаются в радиотехнической литературе. К ним принадлежит, например, летучая мышь — живой прообраз локационной станции. К ним относится и комар.

Чем же знаменит комар?

Комары прославились своим писком. Писк комара по высоте своего тона и силе звука лежит на пределе воспринимаемых человеческим ухом частот и уровней громкости. Поэтому комариный писк часто начинает или замыкает собой акустические таблицы и используется для популярных акустических сравнений и примеров.

Какими же цифрами характеризуется писк комара?

Звук, который мы называем комариным писком, порождается крыльями летящего комара. Его частота колеблется в пределах примерно 12—16 *кгц*. Эти частоты предельны для человеческого уха. Их слышат не все. В детские годы человек слышит более высокие частоты, чем в зрелом возрасте. Поэтому даже в лучших, наиболее высококачественных акустических устройствах не добиваются воспроизведения звуковых частот выше 12—15 *кгц*.

Мощность комариного писка составляет около $5 \times 10^{-4}$ *эрг/см · сек*$^2$. Так как 1 *эрг/см · сек*$^2$ $= 10^{-7}$ *вт/см·сек*$^2$, то излучаемая комаром звуковая мощность составляет:

$$5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-7} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ вт/см} \cdot \text{сек}^2.$$

Эта мощность в 20 млрд. раз меньше мощности, потребляемой лампочкой от карманного фонаря.

Но ведь наше ухо воспринимает далеко не всю звуковую энергию, излучаемую комаром, а лишь крайне малую часть ее. Эксперименты показывают, что человек с хорошим слухом слышит писк комара на расстоянии 2 *м*. Порождаемая комаром звуковая мощность распределяется при этом по сфере радиусом 2 *м*, площадь которой равна примерно $5 \cdot 10^5$ *см*$^2$. Мощность комариного писка, приходящаяся на 1 *см*$^2$ поверхности этой сферы (1 *см*$^2$ — площадь входных каналов ушей), составляет всего $25 \cdot 10^{-16}$ *вт*.

Это — порог слышимости на таких частотах.

Звуковая волна представляет собой смещение частиц воздуха, имеющее колебательный характер. Частота колебаний определяет собой частоту звука, а от амплитуды колебаний зависит громкость звука. Наше ухо чрезвычайно чувствительно. Наиболее чувствительно оно на частоте 2 300 *гц*. Порог слышимости на этой частоте составляет $10^{-10}$ *мквт/см*$^2$, что соответствует звуковому давлению $2 \cdot 10^{-4}$ *бар*. Смещение частиц воздуха при громкости на пороге слышимости равно всего $10^{-8}$ *мм*, т. е. меньше поперечника атома.

Колеблющиеся частицы воздуха передают свою энергию барабанной перепонке уха, которая сама начинает колебаться с амплитудами примерно такого же порядка. Однако этих ультрамикроскопических амплитуд достаточно для того, чтобы слуховой нерв получил определенное раздражение, в результате чего у нас рождается ощущение звука.

Несмотря на сверхмалые амплитуды колебаний частиц воздуха, общая масса воздуха, приходящая в колебательное движение, не так незначительна. Если мы на расстоянии 1 *м* еще различаем писк комара, то при этом колеблется масса воздуха около 44 *кг*. Если мы слышим звук на расстоянии 100 *м*, то при этом в колебательное движение приходит около 2 500 *т* воздуха.

---

## ЛЕТУЧАЯ МЫШЬ — ЖИВОЙ ЛОКАТОР

Скромная летучая мышь прославлена в научно-популярной литературе за ее локационные способности. С поразительной ловкостью летает она в темноте, лавируя между домами, ветвями, проводами и другими препятствиями.

Ученых давно заинтересовало, как ухитряется летучая мышь летать в темноте, не натыкаясь на препятствия. Вначале — это было давно, чуть ли не 200 лет назад — предположили, что она обладает необычайно острым зрением. Для проверки поймали мышь, заклеили ей глаза и выпу-

стили. Результаты были поразительными: ослепленная мышь летала так же ловко, как и зрячая; она ни на что не натыкалась и даже находила добычу.

Но вот однажды попробовали завязать у летучей мыши уши. И мышь, лишенная возможности слышать, стала беспомощной. Она утратила способность летать в темноте и охотиться за насекомыми, которыми она питается.

Может быть, мышь слышит какие-то звуки и руководствуется ими? Для проверки решили выпустить мышь с открытыми ушами (и глазами), но с завязанным ртом. И вот оказалось, что мышь в этом случае летать не может — она натыкается на препятствия.

Дело начало проясняться. Очевидно, летучая мышь издает какие-то неслышимые нами звуки и с их помощью ориентируется в пространстве.

Что же все-таки слышит мышь? Что за звуки она издает?

Загадка была разрешена не сразу. Но в конце концов наблюдения и исследования показали, что летучая мышь издает ультразвуки, частота которых достигает 50 *кгц*. Вполне естественно, что мы не слышим их. Ведь ухо человека воспринимает звуки с частотой не выше 16 *кгц*.

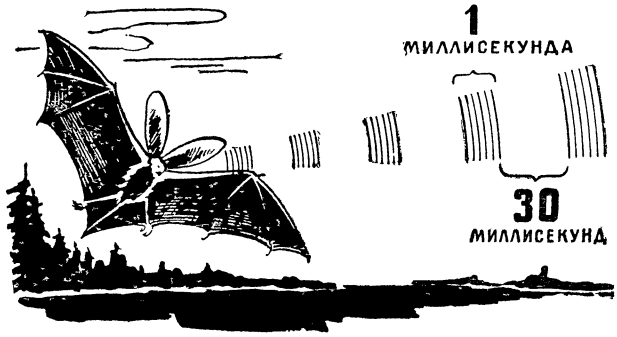
Принципы радиолокации хорошо известны. Радиолокационная станция периодически посылает импульсы радиоволн (зондирующие импульсы) с помощью направленной антенной системы. Посланный станцией зондирующий импульс, встретив на своем пути препятствие, отражается от него и частично возвращается к станции, где и принимается. Зная скорость распространения радиоволн и время, прошедшее между посылкой сигнала и возвращением его в виде эха, легко определить расстояние до препятствия, от которого отразились радиоволны. При скорости 300 000 *км/сек* радиоволна пролетает за 1 *мксек* 300 *м*. Если эхо вернулось через 2 *мксек*, то расстояние до препятствия равно 300 *м*, так как сигнал проделал этот путь дважды: от передатчика до препятствия и от препятствия до передатчика.

Прием может быть осуществлен только в моменты молчания передатчика. Отраженный сигнал всегда бывает очень слаб, и посылаемый сигнал полностью заглушит его даже в том случае, если для приема применяется отдельная антенна. В действительности же и прием, и передача обычно ведутся на одну антенну, которая переключается то на прием, то на передачу.

Продолжительность зондирующего импульса определяет минимальную дальность действия локатора. Если импульс продолжается 10 *мксек*, то в течение этого времени приемник не сможет принять эхо, а сигнал пролетит за 10 *мксек* 3 000 *м*. Следовательно, препятствие, находящееся ближе чем в 1,5 *км*, этим локатором обнаружить нельзя.

Столь же понятна и зависимость между интервалом, разделяющим импульсы, и наибольшим расстоянием, на которое может работать локатор. В течение этого интервала сигнал должен дойти до препятствия — цели и возвратиться. Если интервал между двумя зондирующими импульсами равен 1 000 *мксек*, то радиоволна пролетит во время интервала 30 *км*. За это время сигнал должен проделать путь дважды, поэтому наибольшее расстояние, которое сможет определить локатор, будет равно 15 *км*.

Теперь вернемся к летучей мыши. Ей не приходится измерять большие расстояния. Ее не интересует, что делается дальше примерно 20 *м*. Зато очень важно получать своевременные сведения обо всем, что встречается на пути ее полета вблизи — на расстоянии нескольких метров и ближе, иначе она будет натыкаться на препятствия.




Каждая ультразвуковая посылка — «зондирующий импульс» — длится не больше 1 *мсек*. Ультразвук распространяется в воздухе с такой же скоростью, как и звук, т. е. в среднем 340 *м/сек*. За 1 *мсек* звук распространяется примерно на 34 *см*, следовательно при такой продолжительности посылки летучая мышь может обнаружить препятствие на расстоянии от 17 *см* и дальше. Так как летучая

мышь может делать посылки еще меньшей продолжительности, она в состоянии «чувствовать» встречные предметы в самой непосредственной близости от себя.

Число посылок в секунду летучая мышь изменяет в соответствии с обстоятельствами. Неподвижная мышь делает в секунду около десяти ультразвуковых посылок. Находясь в полете, она учащает посылки, доводя их число до 30 в секунду и даже больше в зависимости от расстояния до препятствия, к которому она приближается.

Летучая мышь умело использует свою способность издавать и улавливать ультразвуки, и эта способность хорошо дополняет ее другие органы чувств. Достаточно увидеть летучую мышь в полете, чтобы убедиться в том, каким важным и действенным средством ориентировки является для нее эта ее способность. Мышь уверенно летает между деревьями в густом саду, делая головоломные повороты, и своевременно облетает все препятствия, практически не пользуясь при этом зрением, а полагаясь исключительно на свой ультразвуковой «локатор».

Слово «локатор» в предыдущей фразе заключено в кавычки в силу традиции. Ультразвуковой аппарат ориентации летучей мыши является локатором не в переносном смысле. Ультразвуковые гидролокаторы, так называемые асдики, работают подобным же образом: они осуществляют ультразвуковые посылки — зондирующие импульсы, улавливают отражение их от препятствий и по времени и направлению прихода эха определяют направление на объект и расстояние до него. По существу совершенно так же работают и ультразвуковые эхолоты.

Как было сказано, летучая мышь пользуется для целей локации ультразвуком с частотой около 50 000 *гц*. Это очень высокая частота, лежащая далеко за пределами частот, слышимых человеком. Но сама летучая мышь воспринимает еще более высокие частоты, по-видимому, более 70 *кгц*. Способность слышать такие частоты нужна летучей мыши, по всей вероятности, для того, чтобы разыскивать насекомых, которыми она питается. Мышь ловит их на лету, а они своими крыльями порождают ультразвуки, частота которых находится в этих пределах.

Несмотря на то, что локационные способности мыши обследованы лучше, чем у других живых существ, пользующихся таким же способом ориентирования, все же здесь остается еще много неизвестного. Например, не выяснено,

как мыши отличают «свои» сигналы от «чужих». Летучих мышей много, это вовсе не одиночное животное. Их часто можно видеть вместе по нескольку штук. Казалось бы, что их сигналы и многочисленные отражения этих сигналов должны безнадежно перепутаться, но в действительности этого не происходит. Нельзя ожидать, что каждой летучей мыши «присвоена» своя волна, иная нежели у других мышей. Вероятнее, что мыши, когда надо, могут менять волну своего «передатчика» и тут же точно перестраивать на нее и свой «приемник». Если это так, то и оперативности, и точности мышиной аппаратуры можно позавидовать.

Гвачаро

Аналогично эхом пользуется южноамериканская птица гвачаро — обитательница темных пещер. Она излучает мощные отрывистые выкрики высокого тона с частотой около 7 000 *гц* и после каждого выкрика улавливает эхо от препятствий.

Для того чтобы пользоваться звуковыми или ультразвуковыми локаторами, живым существам приходится оценивать такие короткие промежутки времени, как миллисекунды или даже микросекунды. И нам становится немного завидно: птицы и летучие мыши точно измеряют сверхкороткие мгновения, а мы?

Но у нас нет оснований считать себя обиженными. Человек тоже улавливает миллисекунды и их доли. Мы обладаем стереофоническим восприятием звука. Закрыв глаза, мы различаем, что автомобиль сигналит справа, кто-то разговаривает слева и т. д. Как мы это узнаем?

У нас два уха, расставленных примерно на 20 *см*. Если источник звука не находится прямо перед нами или точно позади, то наше ухо, находящееся ближе к источнику звука, слышит раньше, а более удаленное ухо — позже. Простой подсчет показывает, что при разности расстояний от одного и другого ушей до источника звука 10 *см* более удаленное ухо слышит звук с запаздыванием на 0,3 *мсек*, или на 300 *мксек*. Предел наших возможностей лежит, по-видимому, где-то около 100 *мксек*.

Сравнение радиолокационной станции с летучей мышью интересно закончить некоторыми цифрами. Летучая мышь мала, и ее локационный «механизм» — легкие, гортань,

слуховой аппарат вместе с ведающей им частью мозга — очень легок; он весит немного меньше полуграмма. Мощность излучаемых мышью сигналов около $10^{-6}$ *вт*, т. е. одна миллионная ватта. Для сравнения можно взять так сказать «однотипную» радиолокационную станцию — самолетную. Вес такой станции составляет несколько десятков килограммов, а излучаемая мощность бывает порядка нескольких десятков киловатт. При этом самолетная радиостанция обнаруживает цели диаметром в несколько метров, а мышь — меньше 0,2 *мм*. Если учесть относительную дальность возможного обнаружения, то получится, что локационный аппарат летучей мыши эффективнее самолетной радиолокационной станции по самым осторожным оценкам в несколько тысяч раз. Некоторые американские исследователи называют во много раз большие числа.

И, наконец, несколько цифр, относящихся к летучей мыши: вес — около 4 *г*; вес гортани, ушей, слуховых участков мозга и других органов, принимающих непосредственное участие в локации, — не выше 10% общего веса, т. е. около 0,4 *г*; обнаруживает проволоку диаметром 0,18 *мм* на расстоянии 0,9 *м*; скорость полета — до 140 *км/ч*.

---

Во второй половине 40-х годов между английскими и американскими специалистами шел спор о том, кто из них первым изобрел радиолокацию. А настоящие пионеры различнейших видов локации в это самое время спокойно плавали в морях и океанах, летали в воздухе и пользовались локаторами, как это делали давным давно их деды, прадеды и прапрапрадеды.

Читателю, конечно, ясно, что речь идет о живых существах, имеющих в своих организмах того или иного рода локационные устройства. В этих случаях в первую очередь вспоминается летучая мышь, которой на стр. 72 уже отдана должная дань. Но надо сказать, что летучую мышь

по незнанию перехвалили, предоставив ей первое место на пьедестале почета. Летучая мышь, как живой локатор, неодинока и совсем не чудо природы.

Приходится констатировать, что сведений о животном мире у нас было слишком мало. Ученые провели хорошую систематизацию живых существ, изучили в какой-то степени их физиологическое устройство, выяснили, сколь возможно, образ жизни. Но многие особенности организма живых существ или не были понятны, или о них вовсе ничего не было известно. Эта недостаточность сведений привела даже к появлению ошибочных поговорок, обычно таких метких и точных. Например, говорят: «нем, как рыба». Поговорка существует, вероятно, сотни, а, может быть, и тысячи лет, но лишь теперь выяснилось, что она неверна. Рыбы вовсе не немы, они издают звуки и пользуются ими для обмена информацией.

Наименее известными особенностями животного мира были, естественно, такие, подметить работу и разгадать назначение которых очень трудно из-за их электрической или акустической природы. Для восприятия электрических явлений у нас нет органов, а акустические в большей своей части относятся к ультра- и инфразвукам, которые мы тоже не воспринимаем. А те из них, которые лежат в слышимой нами части звукового диапазона, распространяются в воде и почти целиком отражаются обратно в воду границей вода—воздух и, кроме того, маскируются многообразными шумами: плеском волн, перекатом гальки и др. Затрудняло изучение подобных особенностей и то, что нам явления такого порядка вообще не были известны. И если ученые находят теперь, что многие живые существа, населяющие воду и воздух, пользуются различными видами эхолокации, то это объясняется главным образом тем, что мы сами освоили этот способ локации и создали для этого нужную аппаратуру.

Теперь уже известно, что многие достижения, которыми гордится современная техника, давно «использовались» различными живыми существами, имеющими для этого специальные органы. Вот для примера небольшой, не претендующий на полноту перечень из этой области. В нем упоминается то, что мы сами выполняем средствами радиоэлектроники.

**Звуколокация** состоит в посылке звуковых, ультразвуковых или инфразвуковых импульсов и улавливании отра-

жения их от цели (препятствия). В животном мире весьма распространена. Уже известны десятки видов живых существ, имеющих нужные для осуществления ее органы. Из них наиболее известна и изучена летучая мышь, но она, как было отмечено, на конкурсе живых звуколокаторщиков, вероятно, не заняла бы первого места. Например, достаточно известный всем дельфин обладает более совершенным звуколокационным аппаратом. Дельфиньи локационные посылки — короткие сигналы с частотой примерно от 750 *гц* до 800 *кгц*, — охватывают почти весь звуковой диапазон, кроме самых низких частот, и далеко заходят в область ультразвуков, гораздо дальше, чем у лётучей мыши. Частота посылок и интервалы между ними зависят от расстояния. Одна из серий опытов с дельфинами была произведена в бассейне размерами 17 × 21 *м* со вбитыми в дно многочисленными металлическими стержнями, издававшими звуки при малейшем прикосновении к ним. Вода в бассейне была искусственно замутнена до полной потери видимости. В таких условиях и вдобавок темной ночью два находившихся в бассейне дельфина свободно плавали, не задевая стержней, и безошибочно ловили рыбу, которую им бросали. Когда бросали рыб двух видов, один из которых дельфины очень любили, то они моментально вылавливали именно их, не обращая внимания на менее нравившихся им. Все это дельфины проделывали, пользуясь только своими локаторами. Надо подчеркнуть, что, несмотря на то, что в небольшом бассейне было два дельфина, они не мешали друг другу, очевидно отличая свои посылки от чужих. Многочисленные отражения от близких стен, как и сами стены, тоже не создавали для дельфинов препятствий.

Во время опытов были выявлены еще два интересных обстоятельства. Первое заключалось в том, что дельфины отличали сигналы, отраженные рыбами, от сигналов, отраженных другими предметами таких же размеров. Такое качество локатора исключительно ценно. Вторая особенность состояла в том, что дельфиньи зондирующие посылки, очевидно, не имеют резкой направленности, потому что они плыли прямо к рыбам, опускаемым (без всплесков) в разных местах бассейна. Должно быть дельфины в таких случаях точно определяют направление отраженного сигнала.

Хочется отметить, хотя это и не имеет отношения к нашей теме, что, по мнению биологов, дельфины, по-видимому,

являются, после человека, наиболее развитыми и способными живыми существами. Они могут примитивно разговаривать друг с другом, чрезвычайно понятливы. Часто они уже с первого раза догадываются, чего от них хотят, поэтому их легко дрессировать. Американский физик А. Кларк написал книгу «Вертикальный разрез будущего», в которой он делает прогноз дальнейшего развития наук и примерных дат важнейших этапов на пути этого развития. В этой книге Кларк высказывает убеждение, что к 1970 г. язык дельфинов будет разгадан.

Дельфины музыкальны, причем они даже разбираются в музыке, любят слушать музыку одного жанра и не любят другого. Дельфины — превосходные пловцы, едва ли не самые быстрые из всех, во всяком случае от наиболее быстроходных судов они не отстают; дельфины могут погружаться на глубину по крайней мере до 300 *м* и спокойно переносят огромную разницу в давлении. Изучение дельфинов, вероятно, откроет еще немало интересных особенностей их.

Имеют хорошие эхолокаторы и зубатые киты. Их посылки частотой около 150 *кгц* следуют при бездеятельном состоянии через 15—20 *сек*. Если что-либо привлекло их внимание, то частота посылок увеличивается. Их генератор ультразвуковых колебаний устроен, по-видимому, так: в надчерепном пространстве есть воздушные мешки, разделенные тонкой перегородкой. При помощи специальных мышц воздух может пережиматься из одного мешка в другой, причем тонкая перегородка начинает колебаться с ультразвуковой частотой. Зубатые киты отыскивают свою добычу на большой глубине (до 2 тыс. *м*), где царит полная темнота. Обычное зрение здесь бессильно, киты руководствуются только своим локатором.

Трудно удержаться и не дополнить описание их охоты. Зубатые киты охотятся главным образом на кальмаров, которые для сокрытия выбрасывают черные и светящиеся завесы, а передвигаются реактивным способом, с силой выжимая воду в одну сторону из особой полости. И вот преследователь нападает, пользуясь локатором, а реактивный противник, удирая, ставит световые завесы. Ну, чем не сцена боя современными средствами? К этому можно добавить еще, что сами кальмары имеют устройство для улавливания инфракрасных излучений, помогающее им находить добычу, и давно разрешили задачу запуска ракет

из под воды. Они сами, своим реактивным двигателем разгоняются до скорости, близкой к 70 *км/ч*, и выпрыгивают из воды на высоту не менее 10 *м*. Специалисты подсчитали, что даже небольшие кальмары (поперечник 10 *см*) должны иметь для этого «двигатель» мощностью не меньше 6,5 лошадиных сил.

**Электролокация.** Живые существа пользуются для локации и электричеством. Африканская рыбка нильский длиннорыл при помощи специального органа на спине посылает в окружающее пространство электрические импульсы и улавливает их отражение. Частота его посылок около 100 в минуту. Электрический орган длиннорыла развивает напряжение (переменное) всего в несколько вольт и действует на расстояние нескольких метров. Но ему больше и не надо. Он любит копаться в иле, засунув в него голову. При этом он не может следить за окружающим пространством. Тут и помогает ему его локатор, предупреждающий о появлении возможных врагов.

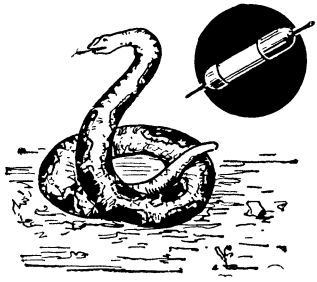
Морская минога на расстоянии в несколько сантиметров от головы создает электрическое поле напряжением до 200 *мкв*. Если в зоне этого поля окажется новое тело, то распределение напряжения изменяется, минога моментально это чувствует и принимает нужные меры.

**Электрическое оружие.** Общеизвестно, что многие обитатели морей имеют электрические органы для оглушения противников или жертв. Все читали об электрических скатах, электрических угрях и пр. Они могут развивать очень высокое напряжение и наносить страшные удары, опасные даже для человека. Но мало кто знает, что есть рыбы, поражающие электрическими ударами без непосредственного контакта, на расстоянии. Интересным примером может служить тропическая рыбка астроскопус. У нее рот, глаза и органы для излучения электрических импульсов расположены на спине. Рыбка обычно лежит на дне. Когда над ней проплывает подходящая добыча, по сигналу глаз электрический орган вырабатывает напряжение, и орган, связанный с глазами, посылает электрический импульс, поражающий жертву, которая падает прямо в раскрытый рот. С инженерной точки зрения — очень удачное решение задачи посредством строенной установки, действующей строго согласованно.

**Перископы.** Подводные лодки снабжаются сложными оптическими приборами, дающими возможность, не всплы-

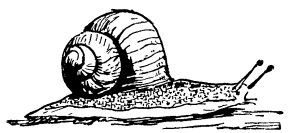
вая, видеть, что делается на поверхности моря. Это — известный всем перископ. Но патент на перископ можно было бы выдать небольшой рыбке периофтальмусу. Она зарывается в ил, а глаза выдвигает вверх на тонких стебельках.

**Термоскопы.** Гремучая змея охотится глубокой ночью, в темноте. Фонарей у нее нет. Как же она находит добычу? Она снабжена термоскопом, находящимся на голове между ноздрями и глазами. Это устройство реагирует на теплоту — на инфракрасное излучение. Чувствительность его исключительно велика: оно регистрирует разность температур 0,001° С. Как уже указывалось, чувствительны к инфракрасным лучам кальмары, осьминоги и некоторые другие существа.



**Терморегуляторы.** Китам приходится жить в холодной воде. Их защищает от холода толстый слой жира — плохого проводника тепла. Но при усиленном движении внутри тела выделяется много тепла, которое надо отводить, иначе неизбежен перегрев. Однако слой жира в силу плохой теплопроводности препятствует этому. Налицо противоречие. Для его преодоления у китов имеется сложная система терморегулировки, управляющая потоками крови в различных частях кровеносной системы, расположенных ближе к наружным покровам или дальше от них. Если надо беречь тепло, терморегулятор, действующий, разумеется, автоматически, направляет кровь в систему, находящуюся дальше от внешних покровов, а если нужно избавиться от избытка тепла, то кровь направляется во внешнюю систему, где тепло отдается окружающей среде.

**Радиометры.** Опасность работы с радиоактивными веществами вынудила человека создать по возможности простые и компактные приборы для определения степени радиации. Но оказывается, некоторые живые существа тоже имеют органы, чувствительные к радиации, т. е. они всегда имеют при себе радиометры. Чувствительность их не так велика: они отмечают радиоактивное излучение в 3 рентгена.



Такие радиометры есть, например, у улиток, муравьев, крыс. Назначение их пока не вполне выяснено, но природа никогда не делает ничего ненужного. (Отметим, что для человека считается допустимой доза гамма-облучения не больше 0,05 рентгена за рабочий день.)

**Оптическая связь.** Рассказывая об оптической связи (стр. 222), мы отметили, что ее надо считать одним из первых средств дальней связи, которым начал пользоваться человек. Ее развитие завершают сегодня современные квантовые генераторы — лазеры. Но и в этой области можно найти других претендентов на приоритет. Это... жуки. Есть много видов жуков-светляков, обменивающихся друг с другом информацией (конечно, в пределах своего примитивного уровня развития) при помощи световых сигналов. Сигналы подаются вспышками их «фонариков». У каждого вида есть свой «код», заключающийся в ритме вспышек и их продолжительности. Например, у одних каждая вспышка длится 20 *сек* с такими же интервалами между вспышками, у других вспышки очень коротки: 0,1—0,2 *сек* и т. д.

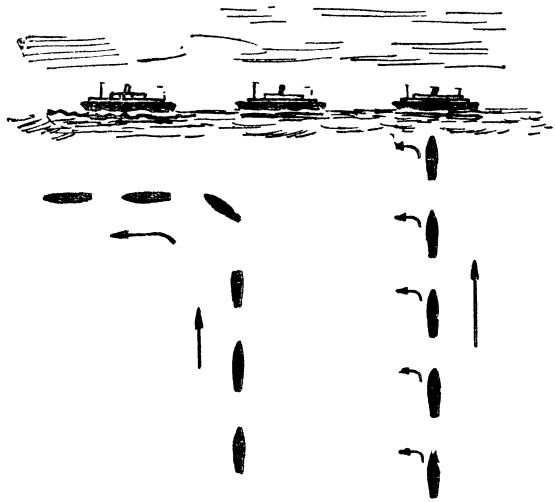
Интересно, что некоторые светляки действительно «гасят» свое свечение, у других же свечение продолжается непрерывно, но световая камера может закрываться черной перепонкой.

**Чувствительность к облучению ультразвуком.** Подводным лодкам, самолетам очень важно знать, облучаются ли они в данный момент импульсами вражеских локаторов или нет. Для этой цели созданы специальные радиоэлектронные установки. А вот насекомым, служащим пищей летучим мышам, очень важно знать, не облучаются ли они ультразвуковыми локаторами мышей или в данный момент можно летать спокойно. И природа создала у них специальный орган, чувствительный к ультразвуку. Как только эти насекомые почувствуют облучение ультразвуком, они моментально складывают крылья и камнем падают вниз. В этом их единственный шанс на спасение.

Приведенные примеры надо рассматривать как несистематизированные и неполные. Подобный перечень можно увеличить во много раз. Лишь на одну незатронутую здесь тему — способность ориентироваться — можно написать очень много. Масса зверей, птиц, рыб, насекомых обладает удивительной способностью ориентироваться и находить нужное направление в совершенно незнакомой местности. У человека такой способности нет. Для восполнения этого

пробела технике пришлось создать очень сложные и громоздкие системы навигации с различными видами компасов, с пеленгаторами, эхолокаторами, наводящими станциями, маяками и пр. А бабочка мгновенно и безошибочно находит дорогу к самке (см. стр. 244), причем ее приемник излучений, очевидно, обладает невероятной чувствительностью. Ведь какую мощность может излучать маленькая бабочка и какое поле могут создать ее сигналы на расстоянии 10 *км!* А ведь этой способностью обладают и такие небольшие бабочки, как общеизвестная моль.

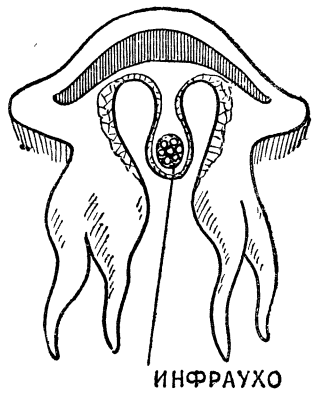
Все, о чем здесь было рассказано, может быть решено средствами радиоэлектроники, но в большинстве случаев при помощи больших, сложных, дорогих и, к сожалению, не очень надежных установок. Природа за 4 млрд. лет сумела найти иные, простые и рациональные решения. Следовательно, такие решения возможны, и наши конструкторы должны искать их.



«ВСЕ ВДРУГ»

В заключение хочется отметить, что изучение живой природы в рассматриваемом нами направлении только начато. Тут есть еще очень много невыясненного. Вот хотя бы один пример. Военные корабли ходят обычно кильватерными колоннами и повороты осуществляют, идя по следу находящегося впереди корабля, как вагоны бегут за локо-

мотивом. Но есть во флоте команда «поворот все вдруг». По этой команде, даваемой ведущим кораблем, все корабли поворачивают одновременно и, следовательно, меняют строй. Так вот громадные косяки рыбы, иногда километровой длины, тоже могут делать «поворот все вдруг». Каждая рыба поворачивает одновременно со всеми в одну сторону, и стая следует в другом направлении. Какому сигналу подчиняются рыбы? Кто дает этот сигнал? Это совершенно неизвестно. Очевидно только, что зрение здесь помочь не может. Если бы рыба руководствовалась тем, что видит, а видит она только ближайших соседок, то «волна поворота» медленно распространялась бы по косяку.


ИНФРАУХО

А вот другой пример использования природного устройства. Было замечено, что медузы очень задолго узнают о приближении шторма. Наблюдения показали, что вестником шторма служат инфразвуковые колебания, распространяющиеся в воде. Частота их около 8 *гц*. У нас чувствительных приемников для таких частот не было. Решили скопировать «приемник» медузы, устроенный достаточно просто. Такой прибор был сконструирован на кафедре биофизики Московского университета и дал очень хорошие результаты: он «предсказывает» приближение шторма за 15 *ч*.

Изучение природы в том направлении, в каком это начинает делать новая наука — бионика (стр. 247), должно дать очень много ценного для дальнейшего прогресса и науки, и техники.

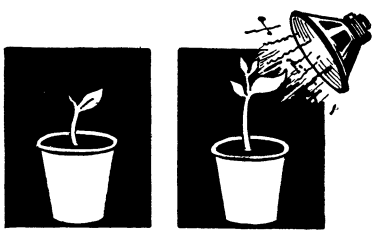
---

Мы знаем, что растения нельзя считать неподвижными. Например, все они реагируют на свет. Подсолнечники и масса других цветов и соцветий все время поворачиваются

к солнцу по мере его движения по небу — прекрасный пример «следящей системы». Многие растения с заходом солнца складывают листья, у других на ночь «увядают» цветы. К первым, например, принадлежит шелковистая акация, ко вторым — некоторые фиалки. Но есть цветы, которые, наоборот, поникают днем и развертываются к ночи. Таковы, например, душистый табак и маттиола. А эвкалипт реагирует на свет по-своему: он поворачивает листья к свету не плоскостью, а ребром, чтобы уменьшить перегрев и вместе с ним испарение воды.

Механические воздействия тоже могут заставить растения двигаться. Знаменитая «стыдливая мимоза» при прикосновении складывает листочки. Очень быстро складывает свои реснички росянка, когда в ее ловушку попадает насекомое. Таких «хищных» растений, способных на быстрые движения, много.

Но до последнего времени не было известно, что растения реагируют и на звук. Объясняется это, конечно, тем, что раньше не существовало громких источников звука длительного действия. Но когда появились мощные громкоговорители, устанавливаемые на открытом воздухе, было замечено, что цветы отворачиваются от громкоговорителей. В литературе появились разрозненные сообщения о наблюдениях этого явления, которые, естественно, нуждаются в массовой проверке, проведенной в разных условиях. Опыты лучше всего производить с громкими музыкальными передачами. Речевые передачи не бывают громкими, потому что между словами всегда есть интервалы, которые значительно снижают общий уровень.



Гораздо полнее проверено действие звука на всхожесть и рост растений. В США на одной из ферм штата Иллинойс уже в течение нескольких лет ведутся специально поставленные опыты. Они показали, что облучаемые звуками семена прорастают заметно быстрее и дают более сильные ростки, чем такие же семена, находящиеся в совершенно одинаковых условиях, но не подвергающиеся «озвучиванию». Например, десять «озвученных» всходов весили 40 *г*,

а десять «неозвученных» — 28 *г*. «Озвученные» растения дали соответственно и больший урожай. При этом было замечено, что наилучшие результаты дает озвучивание низкочастотным тоном (в поставленных опытах — 450 *гц*). В конечном счете результат с посевами кукурузы был такой: на озвученном участке урожай 175 гектолитров, количество початков 328, на совершенно таком же участке, но неозвученном — 150 гектолитров, 269 початков.

Одним из наблюдателей отмечен еще такой вид реагирования растений на звук. Если растение, «уснувшее» на ночь, например сложившее листики, подвергнуть действию громкого звука, то листочки снова раскрываются, как они раскрываются при достаточно сильном освещении.

Опыты и наблюдения такого рода надо продолжать. Возможно, что результатом их будет не только установление новой, неизвестной ранее взаимосвязи между явлениями, но и эффект, имеющий народнохозяйственное значение.

---

## ПОЧЕМУ МЫ ПОНИМАЕМ ДРУГ ДРУГА

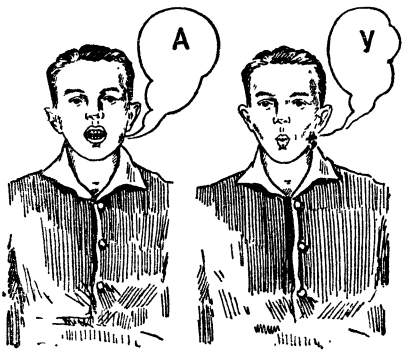
Этот вопрос не имеет никакого отношения к собственно языку. Совершенно очевидно, что мы можем понять только то, что сказано на известном нам языке. Но для того чтобы понять слово, произнесенное на любом языке, надо уловить составляющие его звуки. Если кто-нибудь произнес слово «миска», то слушающий должен совершенно ясно различить, что первым звуком в этом слове является «м», за ним следует «и» и т. д. Если вместо «и» мы услышим «а», то слово примет совсем другой смысл: получится не «миска», а «маска».

Из этого следует бесспорный вывод: чтобы понимать друг друга, мы должны различать звуки, из которых составляются слова. Мы должны безошибочно отличать звук «а» от звука «о» или «и» и пр.

Каким же образом мы достигаем этого? Ведь человеческие голоса так различны по тембру и тону. Иной пророкочет звук «а» густым басом, а детский голосок пропищит его тонким дискантом, но и в раскатах баса, и в тонком детском голосе мы уловим один и тот же звук «а». Мы распознаем звуки независимо от того, как они произнесены — громко или шепотом, мы узнаем их и в крике, и в пении.

Механизм этого понимания очень интересен. Оказывается, в каждом гласном звуке есть не менее чем два характерных тона, две, как их называют, форманты, которые и определяют его. Эти форманты должны обязательно присутствовать в звуке, иначе мы не сможем его распознать.

Чем же обеспечивается наличие в произносимом звуке необходимых формант? Оно обеспечивается определенной настройкой полости рта. При помощи языка, щек и соответствующего положения челюстей мы образуем в полости рта два резонирующих объема, которые и подчеркивают нужные форманты. Например, у звука «а» три форманты: 600, 1 070 и 2 400 *гц*. Высота звука — его тон — зависит от размера голосовой щели. Изменяя этот размер, мы можем изменять тон звука, делать его более высоким или более низким, но необходимые форманты при этом остаются неизменными.




Попробуйте, например, раскрыть рот, прижать кончик языка к нижним зубам и произнести звук «а». Вы проделаете это очень легко. Но попробуйте теперь, не изменяя формы рта и положения языка, произнести другой звук, например «и», «о», «у» или какой-нибудь другой. Из этой попытки ничего не выйдет. В лучшем случае Вам удастся выдавить из себя лишь неопределенное мычание, не похожее на звучание, соответствующее какой-либо букве, но выдавить даже такой звук будет физически трудно. Этот же опыт можно проделать с любым другим звуком. «Настройте» рот на звук «и» и попытайтесь, не изменяя

этой настройки, произнести звук «а» или любой другой. Это Вам не удастся.

У нас выработалась автоматическая привычка настраивать свой рот нужным образом, и мы не замечаем этого.

Интересно, сколько времени длится произношение той или иной буквы.

В отношении гласных букв нельзя установить какую-либо определенную продолжительность звучания. Один говорит быстрее, другой медленнее. Иногда мы умышленно растягиваем слова. Однако исследования показали, что растягивание слов производится путем увеличения длительности звучания гласных букв и некоторых согласных, таких, например, как «с», «ш». Звучание части согласных букв мы растягивать не можем. К ним относятся «б», «п», «т» и др.

Если не принимать во внимание умышленное растягивание звучания букв, а ориентироваться на длительность звучания их при нормальном среднем темпе речи, то окажется, что наиболее длительно мы «тянем» звук, соответствующий букве «а» — около 250 *мсек*. Самый короткозвучащий звук — «п». На произношение этой буквы мы затрачиваем всего 20 *мсек*.

Радиоаппаратура должна без искажений донести нужные форманты звуков до нашего уха. Искажение их приводит к потере разборчивости.

Следует отметить, что наше восприятие формант звуков ухудшается с увеличением громкости относительно ее нормального, привычного уровня. Поэтому разборчивость очень громкой радиопередачи ниже разборчивости передачи, громкость которой приближается к естественной. Это обстоятельство в числе прочих причин объясняет меньшую разборчивость передачи мощных уличных громкоговорителей по сравнению с комнатным. Об этом очень полезно почаще вспоминать и любителям «оглушительной» работы приемников.

Это справедливо не только в отношении громкоговорителей. Когда человек кричит, нам тоже труднее понять его, чем когда он говорит с нормальной громкостью.

— Седор Феменович, фкажите, любите ли Вы вкуфные фадовые яблоки?

В этой фразе нет опечаток. Она умышленно так написана. Неправда ли, она выглядит смешно? Но попробуйте передать ее по телефону и ваш собеседник будет уверен, что он слышал «Федор Семенович, скажите, любите ли Вы вкусные садовые яблоки»?

Такая забавная неспособность заметить умышленные искажения происходит из-за особенностей нашей речи и слуха. Большинство согласных звуков содержит в своем составе много высоких звуковых частот, превышающих 5—6 *кгц*. Различное распределение этих составных частот по спектру и приводит к тому, что мы отличаем один согласный звук от другого. В области же низших частот состав звука некоторых согласных имеет много общего.

Обычный городской телефон пропускает полосу частот примерно 250—3 000 *гц*; более высокие частоты им не воспроизводятся. Поэтому при разговоре по телефону до нашего слуха доходит лишь часть звуковых колебаний, необходимых для распознавания того или иного звука. Мы различаем ряд согласных только по смыслу передаваемого слова и по привычке воспринимать их как те согласные, которые должны стоять в этом слове.

Наибольшее сходство имеется между звуками «с» и «ф». Звук «с» содержит в своем составе частоты 500 — 8 000 *гц*. Этим, между прочим, объясняется, что по радио звук «с» передается хуже всех других: столь высокие частоты не воспроизводятся не только телефоном, но и большинством радиоприемников. Звук «ф» требует несколько меньшей полосы частот.

Трудно различить также звуки «ч» и «ш». При разговоре по телефону можно их взаимно переставлять, и собеседник в большинстве случаев не заметит этого, как он не замечает замены звука «с» звуком «ф» и наоборот. Плохая разборчивость отдельно произнесенных звуков заставляет нас при

названии телефонных номеров заменять буквы общеизвестным словом, начинающимся с этой буквы. Трудно различимы в отдельности, например, звуки «в» и «б». Поэтому вместо «Бэ — один — тридцать три...» или «Вэ — один — тридцать два... говорят «Борис — один — тридцать три...» и «Вера — один — тридцать два...» По этой же причине неразборчивые слова передают «по буквам» — словами.

Ниже приводится таблица, характеризующая состав колебаний в звучании разных согласных.

| Звук | Число колебаний в секунду | | Звук | Число колебаний в секунду | | Звук | Число колебаний в секунду | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | нижнее | верхнее | | нижнее | верхнее | | нижнее | верхнее |
| б | 91 | 2 900 | к | 1 250 | 3 900 | с | 500 | 8 000 |
| в | 100 | 3 400 | л | 228 | 1 932 | т | 900 | 4 000 |
| г | 90 | 3 400 | м | 271 | 2 579 | ф | 550 | 6 400 |
| д | 90 | 3 700 | н | 203 | 2 169 | х | 2 000 | 4 000 |
| ж | 80 | 5 200 | п | 950 | 3 600 | ч | 500 | 4 800 |
| з | 90 | 7 000 | р | 20 | 4 846 | ш | 450 | 4 600 |

У гласных звуков высшие частоты, характерные для того или иного звука, ограничиваются пределом 2 500—3 000 *гц*. Все более высокие частоты в составе этих звуков характеризуют уже не сам звук, а его тембр. Срезав высшие

звуковые частоты в звуке «а» или «о», произносимом высоким женским голосом, мы все же услышим тот же звук «а» или «о» и будем слышать его вполне четко. Здесь уже замена одного звука другим, даже при узкой полосе пропускания телефона, невозможна.

Возьмем в руку открытку или какой-нибудь другой кусок плотной тонкой бумаги и проведем по ее краю зубьями расчески. Мы услышим тон некоторой определенной частоты. Если движение руки с расческой ускорить, то тон повысится. Замедление движения руки будет сопровождаться понижением тона.

Но замедлять движение руки с расческой можно только до определенного предела. Когда этот предел будет достигнут, мы перестанем различать тон. Он как бы распадается на отдельные щелчки или стуки: мы будем слышать не тон низкой частоты, а ряд отдельных стуков.

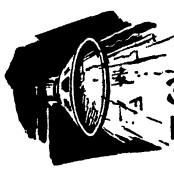
Наше ухо устроено так, что оно перестает разделять звуки независимо от их продолжительности в том случае, если интервал между ними меньше $^1/_{15}$ —$^1/_{16}$ *сек*. Два звука, разделенные интервалом меньше $^1/_{16}$ *сек*, сливаются в один. Если промежуток между звуками больше $^1/_{16}$ *сек*, то звуки «оторвутся» друг от друга.

В нашем примере с расческой тон при замедлении движения руки распадается на отдельные стуки, которые мы слышим потому, что они представляют собой негармонические колебания (частоты гармоник попадают в слышимый диапазон). Если бы мы производили опыт не с открыткой и расческой, а с телом, способным колебаться гармонически,

например струной, то мы просто перестали бы слышать звук тогда, когда тон его стал бы ниже 15—16 *гц*.

Интересно, что то же число ($^1/_{16}$) определяет важный порог восприятия и у глаза. Оно характеризует инерционную способность глаза. Наш глаз сохраняет раздражение в течение примерно $^1/_{16}$ *сек*. Если видимое движение распадается на отдельные статические позиции, но интервалы между ними меньше $^1/_{16}$ *сек*, то мы не различаем рывков и движение кажется нам плавным. На этой особенности глаза основаны кино и телевидение. При передаче более 15—16 кадров в секунду мы уже не замечаем прерывистости движущихся на экране изображений предметов и людей; движение представляется нам плавным и непрерывным. Но если передать в секунду меньше 15 кадров, то человек на экране уже не будет двигаться плавно: мы начнем различать, что его движение состоит из отдельных статических положений.

---



## Почему работает ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ

Каждому из нас трудно припомнить такой день, когда бы нам не приходилось пользоваться услугами электродвигателя. Трамваи, троллейбусы и вагоны метро приводятся в движение электродвигателями. В нашем холодильнике, пылесосе, вентиляторе, радиоле, магнитофоне работают электродвигатели.

Вероятно, не менее часто нам приходится пользоваться услугами и громкоговорителей. Громкоговорители работают в наших радиоприемниках, телевизорах и магнитофонах. С ними мы встречаемся на вокзалах и в метро, в троллейбусах и автобусах, громкоговоритель предостерегает нас с крыши орудовской автомашины и встречает нас в магазине.

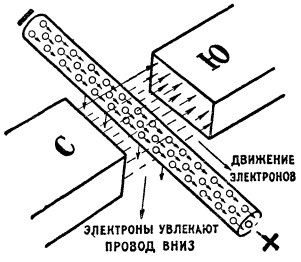
Почему мы сопоставили электродвигатели и громкоговорители? Да просто потому, что их действие основано на одном принципе. Конечно, крошечный электродинамический громкоговоритель из карманного радиоприемника

совсем не похож на мощный двигатель, мчащий троллейбус или поезд метро, но тем не менее они являются самыми близкими родственниками.

Как работает электродинамический громкоговоритель?

Звуковая катушка динамика представляет собой некоторое количество витков провода, скрепленных с ее каркасом и находящихся в сильном магнитном поле. Когда через обмотку катушки не протекает электрический ток, она не испытывает действия каких-либо сил, стремящихся привести ее в движение. Между магнитным полем и звуковой катушкой отсутствуют взаимодействия, могущие вывести ее из положения равновесия.

Но вот в витках звуковой катушки появляется электрический ток: свободные электроны, находящиеся в металле провода катушки, начали организованно двигаться в одну сторону.




Между движущимся электроном и магнитным полем существует определенное взаимодействие. Если электрон движется не точно в направлении поля, то на него будет действовать сила, стремящаяся изменить направление его движения. Направление действия этой силы легко определить по правилу правой руки: если правую руку расположить в магнитном поле так, чтобы ладонь была обращена к северному полюсу, а четыре сложенных пальца указывали направление движения электрона, то отогнутый большой палец укажет направление силы.

Электроны, начав свое движение в проводе звуковой катушки громкоговорителя, немедленно испытывают действие магнитного поля, стремящегося вытолкнуть их из магнитного зазора, и, подчиняясь ему, изменяют направление движения. Если электроны были бы действительно полностью свободными, то они вырвались бы из провода и устремились вон из магнитного зазора громкоговорителя. Началась бы своеобразная «магнитная эмиссия» электронов из провода с током.

Но свобода электронов в проводе относительна. Особенно большие затруднения встречают электроны у поверхности провода. Движение электрона, стремящегося покинуть

провод, в этой зоне встречает сильнейшее противодействие со стороны других электронов и ионов металла. Вспомним, что атомы проводников представляют собой положительные ионы — они лишены по меньшей мере одного электрона, ставшего «свободным». Когда такой электрон находится во внутренних зонах проводника, его взаимодействие с ионами и свободными электронами уравновешивается. И ионы, и электроны окружают его в равном количестве со всех сторон.

Не то в тонкой пограничной зоне, толщина которой около $10^{-7}$ *мм*. Ведь ядро каждого атома окружено электронными оболочками. Поэтому самый внешний слой каждого вещества состоит из электронов. Отталкивающее действие этого граничного слоя электронов на приблизившийся к нему свободный электрон ничем не уравновешивается изнутри проводника, наоборот, положительные ионы притягивают его к себе. Электрону, не имеющему очень большой скорости, не преодолеть этого пограничного барьера (вспомним, что в лампе для преодоления его приходится разогревать металл, чтобы придать электронам нужную скорость).

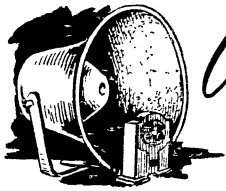
Таким образом, электроны, которые в силу взаимодействия с магнитным полем «хотят» покинуть провод, не могут сделать этого из-за действия сил, существующих в пограничной зоне у поверхности проводника.

Но электроны не могут не подчиняться действию выталкивающей силы магнитного поля. Они начинают двигаться в направлении этой силы и, не будучи в состоянии вырваться из провода, увлекают его с собой.

По такой же точно причине работают все электродвигатели, рамки измерительных приборов и пр. Ротор мотора мощного электровоза, как и звуковую катушку громкоговорителя, движут электроны, которые, повинуясь магнитному полю, стремятся вырваться из провода, но, не будучи в состоянии сделать это, увлекают за собой провод.

В заключение надо сделать маленькую оговорку. Из нарисованной здесь картины можно сделать вывод, что при отсутствии тока электроны в проводе не движутся. Это, конечно, неверно. При отсутствии тока в проводе происходит тепловое движение электронов и эти электроны также взаимодействуют с магнитным полем. Но в тепловом движении электронов нет какого-либо преимущественного направления. Отдельные электроны движутся в различные стороны и, взаимодействуя с магнитным полем, стремятся увлечь

с собой провод и вытолкнуть его из зазора в обоих направлениях: и в сторону диффузора, и в противоположную сторону. Такие силы взаимно уравновешиваются, поэтому провод остается неподвижным. В худшем случае они могут создать некоторые шорохи. Лишь при организованном движении больших масс электронов в одном направлении, каким является электрический ток, возникают силы, увлекающие провод в определенную сторону.



## От чего зависит мощность громкоговорителя

От чего зависит мощность громкоговорителя? Какими особенностями конструкции она определяется?

Для получения ответа на эти вопросы, как будто, проще всего обратиться к таблицам с данными громкоговорителей. Из сопоставления данных, относящихся к громкоговорителям различной мощности, можно будет сразу увидеть, чем они различаются.

Читатель может проделать это. Однако ознакомление с соответствующими таблицами заставит его прийти к странному выводу, что никакой существенной разницы в конструкции громкоговорителей самой различной мощности усмотреть нельзя.

Вот, например, данные двух динамических громкоговорителей: абонентского трансляционного громкоговорителя ДГМ и мощного рупорного «уличного» громкоговорителя Р-10:

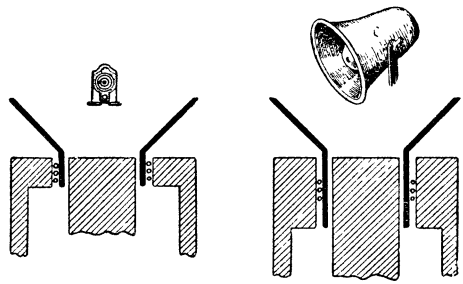
| Громкоговорители | ДГМ | Р-10 |
|---|---|---|
| Диаметр диффузора, *мм* | 196 | 170 |
| » звуковой катушки, *мм* | 25,4 | 25,7 |
| Число витков звуковой катушки | 41 | 39 |
| Диаметр провода звуковой катушки, *мм* | 0,23 | 0,21 |
| Магнитная индукции в зазоре, гаусс | 5 000 | 4 800 |

Как видим, размеры звуковых катушек обоих громкоговорителей почти одинаковы, магнитную индукцию тоже можно считать одинаковой, разница в размерах диффузоров очень мала, а по мощности они отличаются друг от друга в... 65 раз. Мощность громкоговорителя Р-10 10 *вт*, а ДГМ — всего 0,15 *вт*.

В чем же дело? Ведь не может же быть, чтобы громкоговорители столь различной мощности не имели конструктивных различий. Если звуковая катушка, индукция в зазоре и размеры диффузора у громкоговорителя мощностью 0,15 *вт* такие же, как у 10-ваттного, то что же нам мешает подвести к нему 10 *вт* и заставить его обслуживать большой зал или даже площадь?

Конечно, было бы бесполезно заставлять громкоговоритель ДГМ обслуживать аудиторию на открытом воздухе и перекрывать уличный шум. У него есть конструктивные отличия от его мощного собрата Р-10, но эти особенности не находят отражения в таблицах.

Звуковая катушка громкоговорителя Р-10 может совершать колебания с гораздо большей амплитудой, чем катушка ДГМ. Для того чтобы при больших амплитудах не



возникало искажений, надо обеспечить, во-первых, соответствующую конструкцию диффузора (возможность больших смещений без перекоса) и, во-вторых, постоянство магнитного поля на всем пути звуковой катушки. Надо, чтобы катушка при больших колебаниях не выходила из поля. Второе требование вызывает необходимость значительного увеличения глубины кольцевого зазора, в котором движется катушка, т. е. увеличения толщины верхнего фланца магнитной системы.

Но для того чтобы в глубоком зазоре создать такое же магнитное поле, такую же магнитную индукцию, как в очень малом по глубине зазоре маломощного громкоговорителя, нужен значительно более мощный магнит. Поэтому, несмотря на то, что у обоих рассматриваемых громкоговорителей магнитная индукция в зазоре одинакова, вес их магнитов далеко не одинаков. Магнит громкоговорителя Р-10 весит 1 350 *г*, а магнит ДГМ — всего 250 *г*.

Однако вес магнитов и глубину зазора в справочных таблицах не указывают, а остальные данные обычно не дают возможности судить о мощности динамических громкоговорителей.

---

У Вас есть хороший радиоприемник. Он наполняет комнату чистыми приятными звуками при едва наполовину выведенном регуляторе громкости. Выезжая летом на дачу, Вы решили взять радиоприемник с собой — трудно расстаться со своим верным другом. Вы предвкушаете, как хорошо будет послушать радиопередачу на открытом воздухе, среди цветов и зелени.

Но что случилось с радиоприемником? Его установили на столике в саду, протянули достаточно высокую антенну, конечно лучшую, чем городская комнатная антенна, но приемник работает очень тихо, даже при полностью выведенном регуляторе громкости. Проверка напряжения и ламп ничего не дала: напряжение нормальное, лампы хорошие. Больше того, здесь же, на даче, в комнате приемник работает по-прежнему громко, но как только его выносят на открытый воздух, его громкость резко уменьшается.

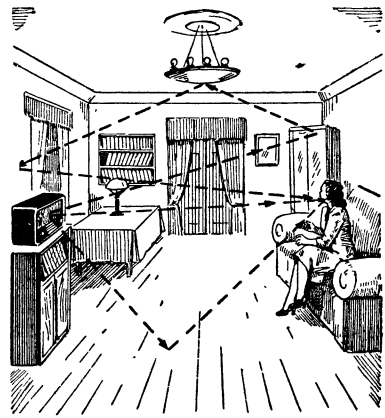
В чем же дело? Ведь не может быть, чтобы в комнате приемник развивал бóльшую мощность, чем при работе в саду?

Разумеется, приемник и в комнате, и на открытом воздухе работает одинаково, отдаваемая им мощность и разви-

ваемая громкость тоже одинаковы, но слышно в комнате действительно громче, чем на открытом воздухе. Объясняется это очень просто.

На открытом воздухе звуковая волна, рождаемая громкоговорителем приемника, долетает до нас и уносится дальше. Мы, так сказать, слышим каждый звук громкоговорителя только раз. Не так обстоит дело в комнате.

Конечно, и в комнате мы прежде всего слышим звук достигший наших ушей непосредственно от приемника. Но слышим мы не только его одного. Созданные приемником звуковые волны достигают стен комнаты, предметов обстановки и т. п. и отражаются от них под самыми различными углами. Часть отраженных волн попадает в наши уши, и действие их складывается с действием основной волны. Но и на этом дело не заканчивается. Отраженные от стен звуковые волны снова ударяются о стены, вновь отражаются от них и опять достигают наших ушей, складываясь с волнами, достигшими их раньше.



Разумеется, энергия звуковых волн с каждым отражением уменьшается— звуковые волны затухают. Общее число отражений звуковых волн в комнате достигает нескольких сотен, но на увеличении громкости слухового восприятия сказываются обычно первые пять — десять отражений, после чего мощность отраженных волн становится столь малой, что они уже не могут существенно повлиять на суммарную интенсивность слухового ощущения.

Повторные воздействия звуковых волн на органы слуха приводят к известному удлинению каждого звука, но оно слишком мало, чтобы исказить звучание. В этом легко убедиться. Расстояния, которые проходит в обычной комнате звуковая волна при отражении, не превосходят 5—6 *м*. При скорости 340 *м/сек* звук проходит такое расстояние примерно за 0,02 *сек*. Следовательно, первые наиболее

громкие отраженные звуки воспринимаются в течение около 0,1 *сек*. Удлинения звука на одну десятую секунды мы не замечаем.

Может ли в комнате произойти то, что акустики называют отрывом отраженного звука от основного? Нет, не может. Для того чтобы мы услышали два звука раздельно, интервал между ними должен составлять не менее $^1/_{16}$ *сек*. За $^1/_{16}$ *сек* звук проходит расстояние 50 *м*, следовательно громкое эхо — эхо первого отражения — может получиться в комнате с расстоянием между стенами не менее 25 *м*, но таких жилых комнат не бывает.

Из этого примера, между прочим, ясно видна разница между эхом и реверберацией. Под реверберацией понимается увеличение громкости звучания и длительности его, но без отрыва отраженных звуков от основного. Если же происходит отрыв отраженного звука от основного и мы различаем их раздельно, то возникает эхо.

Увеличение громкости звучания в помещении по сравнению с громкостью звучания на открытом воздухе наблюдается не только при работе радиоприемников. Слова оратора, пение, игра на музыкальных инструментах и т. п. в помещениях слышны громче, чем вне их. На открытом воздухе ораторам приходится значительно напрягать голос, иначе их будет плохо слышно.

В заключение интересно задать вопрос: куда же все-таки в конце концов девается звук? Ведь звуковые волны несут с собой известную энергию, которая не может пропасть бесследно.

Энергия звуковых волн, заключающаяся в механическом колебании частиц воздуха, в конце концов превращается в тепло. Звук в комнате затухает вследствие того, что энергия звуковых волн затрачивается на преодоление трения между частицами воздуха и нагревание стен и всех предметов обстановки. Но это нагревание так мало, что обнаружить его мы, конечно, не можем. В очерке о к. п. д. радиоприемника (см. стр. 107) приводится пример крайне малой мощности звуковых колебаний, создаваемых громкоговорителем радиоприемника. Мы бы не заметили повышения температуры в комнате, даже если бы звуковая энергия, развиваемая радиоприемником в течение года, выделилась сразу.

# ЭТО НЕ МОЙ ГОЛОС

Вы в первый раз в жизни произвели запись своего голоса на магнитофоне. С интересом переключаете его на воспроизведение и... разочаровываетесь: из громкоговорителя звучит не Ваш, а какой-то чужой, незнакомый голос.

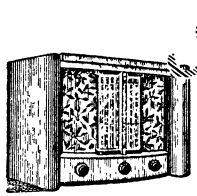
Но почему-то окружающие не уловили искажения, они утверждают, что голос очень похож. Чем же объясняется это разногласие? Почему все узнают Ваш голос, а Вы сами не узнаете его?

Все звуки, доходящие до нас извне, мы воспринимаем ушами, но звуки собственного голоса мы слышим не «через воздух», а иным способом. Вибрации голосовых связок непосредственно передаются костям и через них слуховому нерву. Но при передаче по костям звук приобретает не ту окраску, что при передаче по воздуху. Мы привыкли к такому тембру своего голоса, какой характерен при передаче по костям, поэтому мы не узнали его, когда нам пришлось воспринять его «с воздуха». Все же окружающие, естественно, привыкли к «воздушному» тембру вашего голоса и поэтому сразу узнают его в магнитофонной записи.

Конечно, когда мы говорим или поем, наши уши тоже воспринимают звуки из воздуха, но раздражение, дошедшее до слухового нерва по костям, значительно сильнее раздражения, созданного колебаниями барабанной перепонки, и основная тембровая окраска голоса определяется «костяным трактом». В этом легко убедиться. Попробуйте говорить что-нибудь с одинаковой громкостью и слушать себя сначала, как обычно, а потом, закрыв уши. Вы убедитесь, что, закрыв уши, Вы услышите себя гораздо громче. За-

крыв уши, Вы исключили воздействие на слуховой нерв всех посторонних шумов, оказывающих маскирующее действие на звук Вашего голоса, поэтому он стал слышен относительно громче. Чем больше шум в помещении, тем резче будет разница.

---



## Радиоприемник и глаз

Радиоприемник представляет собой аппарат, предназначенный для приема радиоволн. Наш глаз является оптическим прибором, назначение которого состоит в приеме световых волн.

Но ведь физическая сущность радиоволн и световых волн одинакова: и те, и другие относятся к электромагнитным колебаниям и различаются лишь частотой. Радиоволнами мы считаем в настоящее время электромагнитные колебания с длиной волны примерно от нескольких миллиметров до нескольких километров, а световые волны имеют длину 0,36 — 0,76 *мк*, т. е. 0,00036 — 0,00076 *мм*.

Поскольку с этой точки зрения радиоприемник и глаз можно считать приборами одинакового назначения, мы можем сравнить их технические качества. Наиболее легко сравнимым показателем приемника и глаза является их чувствительность.

Чувствительность человеческого глаза определена очень точно. Как известно, чувствительность глаза зависит от общей освещенности. Днем, на солнечном свету, мы не видим, например, огонька горящей папиросы, а безлунной ночью его можно различить за полкилометра. Наибольшую чувствительность наше зрение приобретает после пребывания в темноте не менее 20—30 *мин*. Эта степень чувствительности называется сумеречным зрением. Если нам случится

войти в кинотеатр во время сеанса, то мы чувствуем себя совершенно беспомощными и вынуждены передвигаться ощупью, поминутно натыкаясь на стулья и зрителей. Но через некоторое время мы уже без труда различаем даже мелкие предметы и свободно читаем, например, газетные заголовки.

Достигнув состояния сумеречного зрения, наш глаз реагирует на освещенность порядка $10^{-6}$ люкса. Если такую освещенность выразить в электрических единицах, то получится, что она соответствует электромагнитному полю интенсивностью около $1{,}5 \cdot 10^{-12}$ *вт/м*$^2$.

Какова же чувствительность радиоприемника? По стандарту чувствительность приемников 1-го класса должна быть не меньше 50 *мкв*. Учитывая действующую высоту средней приемной радиовещательной антенны, будем считать, что такая э. д. с. подводится к приемнику при напряженности в месте приема электромагнитного поля принимаемой станции порядка 10 *мкв/м*. Удельная энергия такого поля равна $1{,}3 \cdot 10^{-13}$ *вт*.

Таким образом, радиовещательный приемник 1-го класса примерно в 10 раз чувствительнее глаза. Но надо отдать должное глазу и отметить, что в приемнике для этого приходится применять около десятка современных усилительных ламп, дающих общее усиление в миллионы раз.

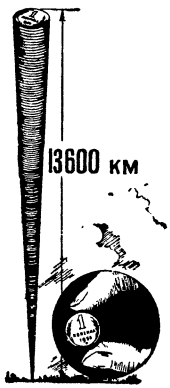
Чувствительность профессиональных приемников выше чувствительности радиовещательных в десятки и даже сотни раз.

Интересна полоса частот, воспринимаемая глазом. Глаз воспринимает частоты $4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$ *гц*, т. е. огромную полосу $4 \cdot 10^{14}$ *гц* (400 квадрильонов герц), тогда как вся полоса частот, используемая радиотехникой, охватывает частоты примерно $10^5 - 3 \cdot 10^{10}$ *гц*, т. е. полосу, в миллиарды раз меньшую. Объясняется это, конечно, тем, что глаз «работает» на очень коротких волнах.

# Усиление в 15 миллиардов раз

В результате воздействия на антенну радиоволн принимаемой станции приемник получает от антенны определенную мощность, которая затрачивается на создание на входном сопротивлении приемника некоторого напряжения. Если бы приемник не получал от антенны никакой мощности, то на его входном контуре не возникало бы напряжения.

Средняя радиолюбительская антенна в том случае, когда в ней действует э. д. с. 100 *мкв*, может передать приемнику в самом лучшем случае не больше $10^{-10}$ *вт*.




Приемники 2-го класса имеют выходную мощность не менее 1,5 *вт*. Таким образом, мощность $10^{-10}$ *вт*, поступившая из антенны в приемник, усиливается им до 1,5 *вт*, т. е. в 15 млрд. раз.

Усиление приемника по напряжению, измеряемое миллионами, бледнеет перед этой огромной цифрой. Что такое 15 млрд.? Возьмем маленькую металлическую монетку достоинством в 1 коп. Она весит ровно 1 *г*. 15 млрд. таких копеек составят сумму 150 млн. руб. и будут весить 15 000 *т*. Наша автопромышленность выпускает сверхмощные грузовики грузоподъемностью 25 *т* — знаменитые минские самосвалы. Для перевозки 15 млрд. коп. потребуется колонна из 600 таких грузовиков. На 9 *км* растянется по шоссе эта колонна. Если 15 000 млрд. коп. положить друг на друга, то получится «столбик» высотой 13 600 *км*.

Вот что значит 15 миллиардов! На такое колоссальное усиление мощности способен наш скромный радиоприемник за счет, разумеется, той энергии, которую он черпает из источников питания. Более мощные приемники при приеме

станций, создающих поле меньшей напряженности, дают усиления, еще в десятки и сотни раз бóльшие. Трудно найти подходящее сравнение для таких усилений.

---

Радиоприемник потребляет от осветительной сети около 70 *вт*. В сравнении с большинством других распространенных электроприборов — плиток, чайников, утюгов, холодильников — эта энергия невелика. Разве только паяльники да небольшие лампы потребляют меньше.

А хватит ли силы у человека питать такой приемник?

Установлено, что человек при сравнительно длительной работе способен развить мощность около одной десятой лошадиной силы. Так как 1 лошадиная сила в переводе в электрические единицы равна 736 *вт*, то выходит, что человек может в нормальных условиях развить мощность около 75 *вт* — столько, сколько надо для питания приемника.

В научно-популярной литературе можно найти сопоставление количества энергии, какое теряет в виде тепла стакан остывающего чая, с работой, которую это количество энергии может произвести. Подобное сопоставление приводит обычно к неожиданным результатам.

Действительно, один стакан чая емкостью 200 $см^3$ (0,2 литра), остывая от 100 до 20° С (до комнатной температуры), т. е. на 80° С, теряет $0{,}2 \cdot 80 = 16$ килокалорий.

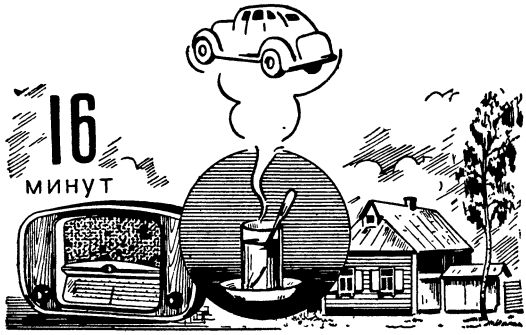
Так как килокалория эквивалентна 427 килограммометрам, то 16 килокалорий могут совершить работу $16 \times 427 = 6\,832$ килограммометра.

Результат поражающий. Широко распространенный у нас автомобиль «Москвич» весит около 1 000 *кг*. Будем

считать, что вместе с четырьмя пассажирами он весит 1 300 *кг*. Значит, за счет энергии остывающего стакана чая автомобиль «Москвич» вместе с четырьмя взрослыми пассажирами можно поднять на высоту

$$6\,832 : 1\,300 = 5{,}2\ м,$$

т. е. на крышу одноэтажного дома. Неудивительно, что пример этого рода в одной из книг Я. Перельмана озаглавлен «Невидимый богатырь в стакане чая».




Однако посмотрим, как долго этот «богатырь» сможет питать приемник «Байкал».

1 килограммометр эквивалентен $2{,}72 \cdot 10^{-3}$ *вт* · *ч* = $= 2{,}72 \cdot 60 = 163{,}2 \cdot 10^{-3}$ *вт* · *мин*. Следовательно, 6,832 килограммометра дадут:

$$163{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 6\,832 = 1\,115\ вт \cdot мин.$$

Так как мощность, потребляемая «Байкалом», равна 70 *вт*,

$$1\,115 : 70 \approx 16\ мин.$$

«Богатырь», могущий зашвырнуть «Москвича» с седоками на крышу дома, сможет питать приемник в течение всего лишь 16 *мин*, после чего его сила, порожденная стаканом остывшего чая, совершенно иссякнет.

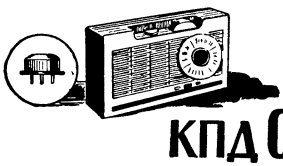
Мощность, потребляемая радиоприемниками, исчисляется обыкновенно десятками ватт. Эта мощность по величине ближе всего к мощности, потребляемой электроосветительными лампами. Мы чаще всего пользуемся лампами мощностью от 10—15 до 100 *вт*. Такова же и мощность радиоприемников.

Однако лампа, как известно, настоящий растратчик электроэнергии. Ее к. п. д. доходит только до 6%. Лишь 6% потребляемой энергии лампа преобразует в свет, а остальные 94% она бесцельно рассеивает в виде тепла.

Каковы в этом отношении радиоприемники?

Они далеко уступают даже электролампам. Это легко увидеть из простого сопоставления известных всем цифр. Радиоприемник, потребляющий примерно 50 *вт*, имеет выходную мощность около 2 *вт*, т. е. его к. п. д. $\approx 4\%$. Это в 1,5 раза меньше, чем у электролампы. Но это еще не к. п. д. приемника.

Радиоприемник отдает 2 *вт* электрической мощности, которая подводится к громкоговорителю. А к. п. д. громкоговорителя всего около 1%. Таким образом, у нашего приемника отдаваемая звуковая мощность, которую мы и используем, достигает всего 0,02 *вт*, а к. п. д. приемника составляет всего-навсего 0,04%.



Четыре десятитысячные доли потребляемой энергии сетевой радиоприемник превращает в полезную продукцию—звук, а все остальное—на нагревание комнаты.

Самые экономичные радиоприемники — транзисторные. Их к. п. д. по электрической мощности доходит до 50%. Но, к сожалению, это высокое техническое достижение «портит» громкоговоритель со своим 1-процентным к. п. д. В результате к. п. д. транзисторного приемника «по звуку» получается всего лишь около 0,5%. Конечно, для радиоприемника это очень хороший к. п. д. но для электроустройства вообще он позорно мал.

Выходная мощность радиовещательных приемников колеблется в пределах от 0,15 *вт* у самых простых батарейных до 4—5 *вт* у сетевых приемников 1-го класса. А какая же мощность в действительности нужна для того, чтобы радиопередача была громко слышна в жилых комнатах обычных размеров?

Громкость — понятие довольно условное и зависящее от индивидуальных вкусов. Одни любят слушать так, чтобы громкость была едва достаточной для полной разборчивости при условии соблюдения в комнате тишины, другие не признают приема, иначе как при полностью выведенном регуляторе громкости.

Наиболее полно обследован вопрос о величине электрической звуковой мощности, нужной для хорошего озвучения помещений различной кубатуры, в звуковом кино. Но, естественно, все справочные данные в этой области всегда относятся к большим помещениям и выражаются в ваттах на кубический метр объема зала. Если пересчитать эти данные применительно к размерам, какие имеют обычные жилые комнаты, и отнести их для лучшей наглядности не к объему, а к площади (считая, что в среднем высота комнаты равна 3,5 *м*), то получится следующая таблица:

| Площадь комнаты, *м*² | Мощность, подводимая к громкоговорителю, *вт* | Площадь комнаты, *м*² | Мощность, подводимая к громкоговорителю, *вт* |
|---|---|---|---|
| 5 | 0,15 | 20 | 0,5 |
| 10 | 0,3 | 25 | 0,6 |
| 15 | 0,4 | 30 | 0,7 |

Громкость, соответствующая приведенным в этой таблице величинам мощности, велика. Чтобы разговаривать,

когда приемник работает с такой громкостью, придется повышать голос.

Для сравнения можно указать, что звуковая мощность, развиваемая обычным граммофоном при проигрывании пластинки средней громкости, составляет в пересчете на ватты около 0,2 *вт*. Надо подвести к громкоговорителю 0,2 *вт*, чтобы получить такую же громкость, какую развивает граммофон. Мощность человеческого голоса при разговоре с нормальной громкостью в таком же пересчете составляет около 0,001 *вт*.

Эти цифры показывают, насколько велик у всех наших радиоприемников «запас» мощности. Мощности приемников 3—4-го классов вполне уже достаточно для самых больших жилых комнат.

Запас мощности нужен для естественности звучания. Нормальная средняя нагрузка приемника — треть его мощности. Избыток мощности остается в запасе. Если такого запаса нет, то прием будет искажен.

---

Существует очень распространенный способ проверки исправности низкочастотной части приемника — прикосновение пальцем к управляющей сетке первой лампы усиления низкой частоты (или к сетке детекторной лампы в приемниках прямого усиления). Если усилитель исправен, то при таком прикосновении из громкоговорителя раздается громкое гудение низкого тона, напоминающее рев.

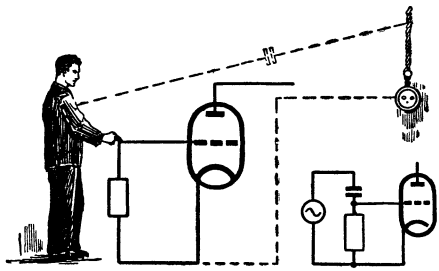
Этим способом широко пользуются все радиолюбители. При каждой неисправности приемника рука прежде всего автоматически тянется к гнезду входа звукоснимателя. «Заревет» приемник — значит произошло повреждение в высокочастотных каскадах, не «заревет» — значит неисправна низкочастотная часть либо на лампах нет напряжения.

Но не каждый, пользующийся таким способом проверки приемника, отдает себе отчет, почему прикосновение к вы-

воду сетки вызывает гудение. Ведь для того чтобы громкоговоритель воспроизвел какой-то звук, надо ко входу усилителя приложить напряжение соответствующей частоты. Какое же напряжение и какой частоты подводим мы к усилителю, прикасаясь пальцем к его входу?

Возможно, иные удивятся, узнав, что, прикасаясь пальцем ко входу усилителя, мы тем самым подводим к нему часть напряжения осветительной сети. Между тем это так.

Между нами и осветительной сетью всегда есть некоторая емкость. Она может быть очень невелика, но тем не



менее оказывается достаточной для того, чтобы на сетку попало напряжение, способное после усиления заставить громкоговоритель звучать.

Попробуем подсчитать, какое напряжение окажется на сетке входной лампы усилителя, если емкость человека относительно осветительной сети напряжением 220 *в* составляет всего 1 *пф*.

Для переменного тока частотой 50 *гц* конденсатор в 1 пикофараду представляет сопротивление около $3 \cdot 10^9$ *ом*. Если сопротивление утечки сетки входной лампы равно мегому, то напряжение сети окажется приложенным к делителю, составленному из двух сопротивлений: $3 \cdot 10^9$ и $1 \cdot 10^6$ *ом*. Сетка лампы присоединена ко второму — меньшему — плечу этого делителя, и на ее долю придутся три десятитысячные напряжения сети, т. е. около 0,07 *в*.

Такого напряжения вполне достаточно, чтобы заставить звучать громкоговоритель. Приемник получает от звукоснимателя напряжение порядка 0,1—0,2 *в*; при этом он отдает свою полную мощность. Поэтому неудивительно, что при подведении примерно лишь вдвое меньшего напряжения звучание получается достаточно громким.

Следует учесть, что обычно между телом, силовым трансформатором приемника и всеми токонесущими проводами создается значительно бóльшая емкость, чем между телом и осветительной сетью. В этом случае с выпрямителя наводится еще напряжение второй гармоники переменного тока (100 *гц*), которое усиливается в еще большей степени.

Легко убедиться в том, что именно эта причина вызывает гудение громкоговорителя. Прикосновение ко входу усилителя низкой частоты батарейного приемника на некотором отдалении от осветительной сети не сопровождается привычным нам «ревом».

Таким образом, прикасаясь к сетке лампы усилителя, мы включаемся в его схему, становясь одним плечом потенциометра осветительная сеть — земля.

---

Слово «антенна» по-гречески означает усики или щупальцы насекомых. Мы протягиваем свои щупальцы-антенны в пространство — «эфир», как его раньше называли, и «вылавливаем» там нужные нам радиопередачи.

Захват этой «добычи» выражается в возникновении на антенне микроскопических напряжений. Эти напряжения так малы, что счет им ведется на миллионные доли вольта — микровольты. Нужда в измерении столь малых долей вольта возникла именно в радиотехнике. Другим областям техники не приходилось иметь дела с такими ничтожными напряжениями. Их невозможно не только измерить, но даже обнаружить при помощи обычных приборов. Для измерения их применяются специальные сложные установки. Человеческий организм таких напряжений не ощущает, поэтому хотя антенна, строго говоря, и является токонесущим

проводом, ее, казалось бы, можно считать совершенно безопасной.

Но это не так. Иногда — это может случиться во всякое время года — из антенны начинают сыпаться искры. Искры длиной до нескольких сантиметров с громким треском проскакивают между антенной и заземленными предметами, чаще всего между антенным снижением и проводом заземления. В такие моменты не рекомендуется прикасаться к антенне — можно получить очень сильный удар. Обычно еще до прикосновения к антенне между нею и рукой проскакивает искра, причиняющая резкую боль.

Что такое электрическая искра?

Ответ на этот вопрос легко найти в учебниках физики. Искрой называется один из видов прохождения электрического тока через газы. В газах электрический ток образуется как движущимися электронами, так и ионами. В воздухе всегда имеется некоторое количество свободных ионов. Например, в кубическом сантиметре комнатного воздуха число их достигает нескольких тысяч.

Если между двумя проводниками, находящимися в газовой среде, имеется электрическое напряжение, то ионы газа в промежутке между этими проводниками приходят в движение. При достаточно большом напряжении скорость ионов становится столь значительной, что они, испытывая при своем движении неизбежные столкновения с молекулами или атомами газа, ионизируют их. Эти новые ионы в свою очередь начинают движение и ионизируют другие атомы. Этот быстро нарастающий лавинный разряд и называется электрической искрой. Давление, образуемое ионами в электрической искре, достигает нескольких сотен атмосфер.

Расстояние между электродами в газе, которое может быть преодолено искрой, зависит не только от величины напряжения, но и от других причин: давления газа, его состава, числа свободных ионов, формы электродов и др. Легче всего искра проскакивает между остриями. В комнатном воздухе, для того чтобы «пробить» искрой промежуток между остриями в 15 *мм* нужно напряжение около 20 000 *в*. Если электроды закруглены или плоски, то такое напряжение может пробить промежуток не больше 5—6 *мм*.

Каждый, кто наблюдал проскакивание искр между антенной и заземленными предметами, знает, что длина искр бывает довольно значительной. Нередкость искры длиной

10—20 *мм*, а искры 2—4 *мм* обычны. Между тем для их образования, даже между остриями, нужны тысячи вольт.

Откуда же берутся такие огромные напряжения?

Разумеется, сигналы радиостанций тут не при чем. Появление столь больших напряжений объясняется другими причинами.

Чаще всего наведение высокого напряжения в антеннах происходит во время грозы. При грозовых разрядах в окрестных проводниках наводятся электрические заряды. Если проводники заземлены, то наведенные заряды немедленно стекают в землю; если же они изолированы, то заряды на них удерживаются, могут накапливаться и достигать больших величин, достаточных для искрового разряда между ними и землей.

Антенны всегда бывают хорошо изолированы и обладают большой протяженностью, поэтому они заряжаются до высокого напряжения даже на значительном расстоянии от района действия грозы, т. е. от того места, где непосредственно происходят грозовые разряды.

Но заряды на антеннах могут появляться и накапливаться не только во время грозы.

Снежинки очень часто несут на себе электрические заряды. Касаясь антенны при своем падении, они отдают ей заряды. Если воздух сух, а это обычно бывает при сильных морозах, то миллионы снежинок могут в конце

концов зарядить антенну до очень высокого потенциала. Такое же явление наблюдается и летом при сухом пыльном ветре. Пылинки, ударяясь об антенну, заряжают ее.

Таковы причины тех искр, которые иногда сыплются из антенного провода. Эти искры опасны. Они могут нанести весьма болезненный удар, повредить приемник, иногда стать причиной пожара. Чтобы избежать всего этого, надо всегда по окончании приема заземлять антенну. Надо также прекращать прием и заземлять антенну и в тех случаях, когда усиливаются атмосферные разряды, т. е. трески, сопровождающие и заглушающие радиоприем. Эти трески свидетельствуют о том, что на антенне по той или иной причине возникают большие заряды.

Антенны заземляют обычно грозовым переключателем. Из сказанного ясно, почему у этих переключателей заземление должно быть подведено к ножу. В этом случае при заземлении антенны к соединенному с антенной зажиму приближается заземленный нож, и если на антенне есть заряд, то при достаточном приближении ножа искра проскочит между антенной и ножом. Производящий заземление человек не пострадает. Если же к ножу присоединена антенна, то прикосновение к нему может вызвать удар.

---

Один из многочисленных читателей, так или иначе откликнувшихся на первое издание «Занимательной радиотехники», писал в своем письме:

«Недавно я перелистывал журнал «Радиолюбитель» за первые годы его издания. Этот хороший журнал всегда находил на своих страницах место для веселых шуток. Мое внимание привлек один из советов шутливой «консультации» — использовать для заземления цветочный горшок. Не нужно рыть землю, закапывать в нее металлические листы или припаивать провода к водопроводным трубам.

Достаточно гнездо «Заземление» радиоприемника соединить проводом с землей в цветочном горшке, стоящем на окне. Этот «совет» сопровождал карикатурный рисунок.

Мой радиоприемник стоял на столе. Он, как почти все современные радиоприемники, работал без заземления. На окне было несколько горшков с цветами. Мне пришло в голову проверить «совет». Я отрезал кусок провода, один конец его соединил с гнездом «Заземление» радиоприемника, а другой сунул в сырую землю одного из горшков. И представьте себе мое изумление, когда я убедился в том, что шуточный совет дает совсем не шуточные результаты — приемник заработал лучше, громкость приема явно возросла!

Чем это объясняется?»

Самая простая антенна — прямой провод. Приемник (или передатчик) надо включить в середину этого провода. У антенны имеются как бы два усика. Именно такие антенны первоначально имели радиоаппаратуры; часто подобными антеннами пользуются и теперь. Если один «ус» изъять, то эффективность антенны будет сильно снижена.

Но теперь для приема радиовещания мы, как правило, пользуемся одним «усом». Это объясняется тем, что современные приемники очень чувствительны, а принимаемые станции обладают большой мощностью. Кроме того, осветительная сеть, так или иначе присоединяясь к радиоприемнику, играет роль заземления, вернее роль второй части антенны. Поэтому широко утвердилось убеждение, что заземление для радиоприемника не нужно.

Это убеждение часто распространяют и на батарейные приемники, чего делать нельзя. У батарейных приемников в какой-то степени роль второй части антенны исполняют провода питания, соединяющие шасси приемника с батареями. Но эти провода очень часто бывают весьма короткими и не могут в должной степени повысить эффективность антенны. В таких условиях каждый лишний провод имеет большое значение, тем большее, чем он длиннее.

По всей вероятности, автор письма вел прием на батарейный радиоприемник, причем заземления у него не было. К приемнику был по существу присоединен лишь один «ус». Эффективность такой антенны низка. Поэтому устройство «заземления в цветочном горшке» существенно улучшило антенну, вследствие чего громкость приема возросла. Само соединение провода заземления с землей в цветочном горшке

не играет в данном случае значительной роли. Более важен сам провод, соединяющий приемник с горшком; он служит противовесом, который заменяет заземление. Горшок с землей тоже стал частью этого противовеса, тем большей, чем больше он сам и чем лучше контакт между проводом и землей в горшке.

Письмо владельца приемника в издательство должно напомнить радиолюбителям и радиослушателям о необходимости внимательного отношения к антенне. Следует помнить, что антенное устройство состоит из антенны и заземления или противовеса. В каждом отдельном случае нужно опытным путем проверить, требуется ли заземление или же для хорошего приема достаточно того суррогатного заземления — противовеса, который создается осветительной сетью, длинными проводами, идущими к источникам питания, и т. п.

А как же обстоит дело с шуточным советом журнала «Радиолюбитель»?

Нет сомнения в том, что авторы «совета» не учли всех обстоятельств дела. Они посмеялись над тем, что некоторые неопытные люди могут придавать значение земле как определенному веществу, которое можно взять в любом виде и количестве. Но они не учли того, что присоединение к радиоприемнику даже 1—2 *м* провода и вдобавок еще известного объема токопроводящей сырой земли может явиться противовесом, заметно улучшающим прием, повышающим эффективность антенны.

---

## Необычные источники тока

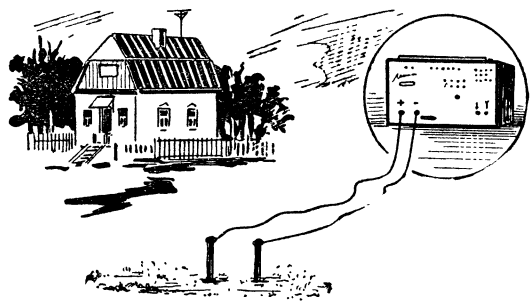
Питание радиоприемников играет очень существенную роль. Именно оно часто определяет возможность пользования радиоприемником. И как раз в этом отношении в течение долгого времени прогресс был мал. Осветительная сеть, кислотные аккумуляторы, щелочные аккумуляторы, гальванические элементы — вот по существу и весь «репертуар».

В последние годы, вообще богатые новинками, появились новые источники тока: серебряно-цинковые аккумуляторы, которые могут быть сделаны совсем миниатюрными, термоэлектрогенераторы для питания приемников от керосиновой лампы, селеновые батареи для питания приемников, если можно так выразиться, непосредственно от Солнца... Но мы хотим сказать несколько слов не о них, а о совсем необычных источниках питания.

Самым старым из них является... передающая радиостанция. В старых комплектах журнала «Радиолюбитель» можно найти упоминание о приемниках «с полным питанием от передающей радиостанции». Дело в том, что мощные радиостанции создают вблизи очень сильное поле и в настроенной на их частоту антенне возникают токи, по мощности достаточные для питания небольшого приемника, например однолампового или двухлампового. Такие приемники удавалось питать путем соответствующего преобразования антенного тока.

Теперь применение такого оригинального питания облегчено. Транзисторные приемники потребляют совсем мало энергии, для них нужно только одно напряжение, что упрощает преобразование. Это позволяет питать приемник на большом расстоянии от станции.

Кроме того, надо учесть, что приемник вовсе необязательно питать от той станции, какая принимается для слушания. Для этого можно использовать любую станцию любого назначения, лишь бы ее сигналы были в данном месте громкими. В этом случае питающее устройство настраивается на эту станцию, а приемник — на нужную.



Большой интерес представляет «земляная» батарея. Земля обычного типа — мокрая или сухая, жирная или

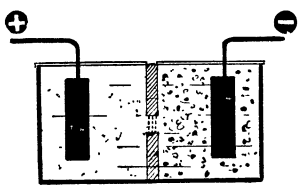
тощая, глинистая или песчаная — может служить своего рода электролитом для гальванического элемента. А электродами для него могут служить два стержня из разнородных проводников, например уголь и цинк, медь и алюминий, медь и сталь. В этих парах медные и угольные электроды будут положительными, а цинковые, алюминиевые или стальные — отрицательными.

Электроды помещаются на глубине 1—1,5 *м* на расстоянии нескольких десятков сантиметров друг от друга. Наилучшим «электролитом» служит влажная «жирная» земля.

Напряжение, которое дает подобный земляной элемент, равно примерно 1 *в* (0,8—1,1 *в*). При таком напряжении транзисторы уже работают.

Промерзание земли препятствует работе элемента. Поэтому летом и вообще в теплое время года элемент может работать где угодно, а зимой его лучше устраивать в подвале, где земля не промерзает.

Оригинальны «живые» элементы, которые называют бактериологическими. Устройство элемента следующее.



Электроды помещены в сосуды, соединенные трубкой с фильтром. Один из сосудов наполнен раствором сахара. В растворе находятся бактерии, разлагающие сахар на углекислый газ и воду. При этом на электроде возникает электрический заряд. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет переработан весь сахар. Но в действительности содержание сахара в растворе не уменьшается. В другом сосуде находятся зеленые водоросли, которые под действием света синтезируют сахар из углекислого газа и воды. В результате элемент может работать очень долго. В нем устанавливается замкнутый самоподдерживающийся цикл. Энергия, которую отдает элемент, представляет собой преобразованную энергию света.

Подобные замкнутые циклы с участием растений, в том числе и водорослей, предполагается устраивать в космических кораблях.

Еще один необычный источник тока открыт недавно в одной из лабораторий США. Работники этой лаборатории случайно обнаружили, что при нагревании железа, покры-

того эмалью, возникает электрическое напряжение. Если взять железо, покрыть его слоем эмали, а эмаль эту металлизировать, чтобы снимать образовавшийся электрический заряд, то получится элемент, в котором эмаль служит чем-то вроде электролита, а железо и слой металлизации — электродами.

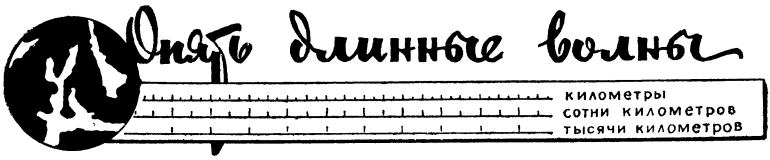
Но это не химический источник тока, как гальванический элемент. В нем ничего не расходуется — ни железо, ни эмаль, ни металлизация. Электрическая энергия получается за счет тепла. Чтобы элемент давал ток, его надо нагревать. Таким образом, подобный элемент скорее напоминает термоэлемент.

В том, что эмаль при нагревании становится проводником, нет ничего особенного. Многие изоляторы при нагревании приобретают проводимость. К ним относится, например, стекло.

Нагрев «железо-эмалевого элемента» должен быть высоким — до нескольких сотен градусов. Оптимальным нагревом является, по-видимому, нагрев до 650° С. Даваемое им напряжение около 1 *в*. Мощность элемента составляет около 0,2 *вт* на квадратный сантиметр. Работает элемент чрезвычайно стабильно, а служба его не ограничена каким-либо определенным сроком: ведь такой элемент, как и трансформатор, является просто преобразователем и выход его из строя может произойти только по какой-нибудь случайности.

Экспериментирование с элементами подобного типа представляет большой интерес. Возможно, что подбором металла и изолятора можно будет создать элемент с большой отдачей при более низких температурах.

---

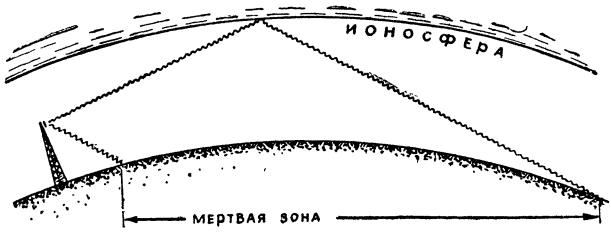



В очерке об оптической связи было отмечено, что в истории техники нередко наблюдается возврат к чему-то старому, часто уже основательно забытому. Конечно, это

происходит потому, что новые средства и углубленное проникновение в суть явлений открывают возможность гораздо лучше использовать старое, чем это удавалось раньше.

Эту интересную особенность можно усмотреть и в применении радиоволн различной длины. Первые радиоволны, полученные Генрихом Герцем для исследовательских целей, относились по нашему современному масштабу к ультракоротким волнам. А. С. Попов начал свои опыты тоже с очень коротких волн, но по мере освоения радиоволн как средства связи он увеличивал их длину. Это удлинение происходило главным образом как следствие увеличения высоты и размеров антенн, а последнее вызывалось необходимостью повысить дальность связи. Передатчики первоначально не имели органов настройки, антенны возбуждались искрой, и наибольшая мощность излучения приходилась на частоту, соответствующую собственной длине волны антенны.

Однако в дальнейшем удлинение волны производилось уже сознательно. Короткие волны считались бросовыми, потому что прием на них оказывался возможным лишь на




малом расстоянии. Мы теперь знаем, почему это происходит. Затухание поверхностного луча коротковолнового излучения (распространяющегося вдоль земной поверхности) очень сильно. За зоной возможного приема, имеющей протяженность иногда всего в несколько десятков километров, следует очень большая — в иных случаях на тысячи километров — «мертвая» зона, где приема нет. А то, что на больших расстояниях прием снова становится возможным, не было известно, да при технике тех лет и не могло быть выяснено. Средние волны, на которых первоначально велась радиопередача, весьма подвержены помехам, качество приема на них сильно зависит от времени года, часа суток, погоды и пр.

Чем длиннее волны, тем менее заметными становятся эти их отрицательные свойства. Помеха наблюдается меньше, на приеме не так сказывается все то, о чем только что говорилось: зависимость от времени года и пр. Станций же было так мало, что их взаимные помехи не чувствовались. Места в эфире хватало всем.

В результате к началу империалистической войны 1914 г. длину волны проще было выражать не в метрах, а в километрах. Длины волн 5, 10, 20 и даже 30 *км* были обычными. Все гиганты эфира тех лет, такие, как Царскосельская и Ходынская радиостанции у нас, Науен в Германии, Сент-Азис во Франции, Карнарвон в Англии, Рокки-Пойнт в США и др., работали на волнах именно такой длины.

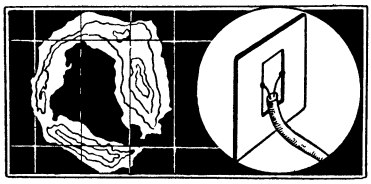
К началу 20-х годов — ко времени возникновения радиовещания — увеличение числа радиостанций вынудило к постепенному переходу на более короткие волны. Наш первый радиоконцерт был передан 17 сентября 1922 г. на волне 3 000 *м*. В дальнейшем наиболее длинной волной диапазона, отведенного для радиовещания, была волна 2 000 *м*; расширение диапазона происходило путем перехода на все более короткие волны. Теперь, как мы знаем, в радиовещательный диапазон входят и метровые (1—10 *м*) волны.

Диапазон электромагнитных волн, используемых не для радиовещания, несколько шире. Для разных целей применяются волны как несколько длиннее 2 000 *м*, так и главным образом короче 1 *м*. Например, для радиолокации широко используются волны сантиметровой длины, есть устройства, работающие на миллиметровых волнах. В лазерах (см. стр. 226) применяются волны, длина которых измеряется даже микронами и долями их.

Таким образом, в течение по крайней мере 40 лет наблюдалось систематическое укорочение длины электромагнитных волн, используемых радиотехникой. Но не так давно на сцене снова появились длинные волны, которые, пожалуй, было бы правильнее назвать сверхдлинными, так как их длина измеряется тысячами километров, достигая, например, 10 000 (десяти тысяч!) *км*. Такие сверхдлинные волны (СДВ) обладают многими преимуществами. Распространение их очень стабильно, оно не зависит от времени года и времени суток, на них не сказываются атмосферные помехи. К их ценным особенностям относится способность проникать в известной степени сквозь воду и землю. Они прони-

кают в воду на десятки метров и поэтому могут быть применены для связи с объектами, находящимися под водой. Под землю они проникают больше чем на 100 *м*. Поэтому их можно использовать для геологических разведок, а также когда требуется связь «сквозь землю». В последних случаях применяются рамочные антенны, число витков которых исчисляется тысячами.

Сверхдлинноволновые антенны, предназначенные для дальней связи, являются очень сложным сооружением. Для хорошей отдачи антенны должны быть очень протяженными. Выполнение подобных антенн, теоретически возможное, практически неосуществимо из-за слишком высокой их стоимости. И тут возникло интересное предложение — использовать в качестве антенны подходящие по конфигурации острова или полуострова. Длина их должна быть 30—35 *км*. Желательно, чтобы омывающие их моря были возможно более солеными, т. е. были хорошим проводником. Антенна в данном случае получается такой, какая носит название «щелевой». На рисунке, заимствованном из радиожурнала, приводятся план такого полуострова-антенны и ее щелевой аналог.



От нескольких тысяч километров до долей микрона — таков огромный диапазон электромагнитных волн, которым оперирует современная радиотехника. Но это далеко не самые короткие и не самые длинные из известных науке электромагнитных волн. О том, какие волны самые короткие, знает большинство. Это волны, соответствующие гамма- и космическим лучам. Частота первых $10^{21}$ *гц*, а частота вторых примерно $10^{22}$ *гц*, а длины волн соответственно $3 \cdot 10^{-7}$ микрона и $3 \cdot 10^{-8}$ микрона. А самые длинные из известных радиоволн обнаружены геофизиками. Это волны внеземного происхождения. Длина их достигает 30 млн. *км*, следовательно частота равна 0,01 *гц*. Период колебания длится 100 *сек*, т. е. почти 2 *мин*. Между Солнцем и Землей может уложиться примерно лишь пять волн такой длины.

Столь длинные волны обнаружены по их магнитной составляющей.

Волны не такой космической длины, но все же не маленькие — 10 и более километров — оказались очень удобными для навигационных целей. Когда вследствие магнитных и других возмущений прерывается связь на обычных диапазонах, современный самолет попадает в очень тяжелое положение: связи с землей нет, маяки не слышны, локаторы работают неуверенно. А ведь реактивный лайнер огромных размеров, мчащийся с колоссальной скоростью, не может сесть где придется. Тут, оказывается, и могут прийти на помощь очень длинные волны. Связь на них гораздо более устойчива, чем на «обычных» длинных волнах (1 000—3 000 *м*), а о более коротких волнах и говорить не приходится.

Так длинные волны вновь завоевывают утраченные было позиции.

---

Кому не приходилось любоваться ночным небом? Его огромный купол как будто покрыт иссиня-черным бархатом, по которому разбросаны золотые брызги звезд.

Вид бездонного ночного неба рождает мысли о бескрайности Вселенной, о далеких чужих мирах.

Кажется, что в ясную ночь ничто не мешает наблюдать небо. Воздух тих и прозрачен, исчезла та дымка, которая днем скрывала дали. Глядишь на небо и чувствуешь, что между тобой и мерцающими звездами нет ничего, кроме огромного расстояния.

Однако это ощущение обманчиво. Земля словно броней закрыта своими оболочками. Их много. Мы различаем тропосферу (0—16 *км*), стратосферу (16—32 *км*), хемосферу (32—80 *км*), ионосферу (80—400 *км*). Дальше находится пространство, которое иногда называют экзосферой, а чаще космическим пространством. По последним исследованиям, произведенным при помощи искусственных спутников и космических ракет, у Земли есть корона из атомов водорода,

простирающаяся на высоту до 20—30 тыс. *км*. Помимо того, на высоте около 100 *км* есть пылевая оболочка, представляющая собой концентрацию микрометеоров. Наконец, вокруг Земли обнаружены пояса радиации, являющиеся скоплением электронов.

Все эти многочисленные оболочки можно назвать прозрачными лишь весьма условно.

Какой смысл мы вкладываем в слово «прозрачный»? Мы считаем прозрачным то, через что мы можем видеть. Видеть — значит воспринимать световые лучи. А так как световые лучи представляют собой электромагнитные колебания, хочется сделать вывод, что прозрачной средой является среда, которая пропускает электромагнитные колебания.

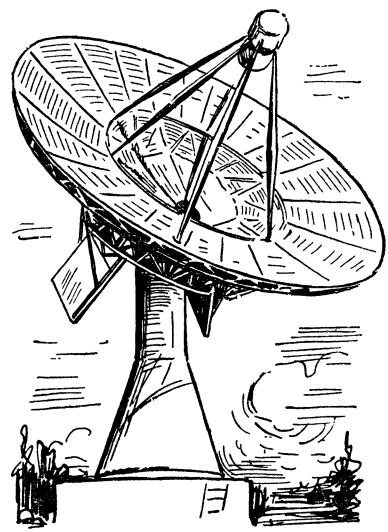
Такой вывод не соответствует реальной действительности. Земная атмосфера и обнаруженные в последнее время дополнительные оболочки ее непрозрачны для электромагнитных колебаний любой частоты. Вернее, земные газовые и иные оболочки пропускают только два небольших участка волн из всего известного нам огромного спектра электромагнитных колебаний, простирающегося от самых жестких гамма-лучей (примерно $3 \cdot 10^{15}$ *Мгц*) до самых длинных радиоволн (примерно до 10 *кгц*). Эти участки называют окнами прозрачности.

Существование первого окна прозрачности как раз и дает нам возможность любоваться ночным небом. Через это «окно» к нам проникают видимые световые лучи [$(4 \div 8) \times$ $\times 10^8$ *Мгц*] и в некоторой степени прилегающие участки ультрафиолетовых и инфракрасных зон. Сквозь это «окно» Солнце несет нам свет и тепло.

Долгое время — с того дня, когда наши предки впервые посмотрели на небо, и почти до последних дней — исследование Вселенной происходило только через это «окно». Телескопами, фотоаппаратами, спектроскопами и другими средствами ученые собирали те сведения о Вселенной, которые несли световые лучи. Изощренный человеческий разум путем хитроумнейшего анализа световых лучей сумел «извлечь» из них очень много. На результатах этого анализа зиждятся все наши знания о Вселенной: об общих законах, которым подчиняется движение небесных тел, и о самих этих телах и их ассоциациях, их температуре, массе, примерных размерах, составе, направлении и скорости движения и пр. Ученые могут создать точную картину

неба, такую, какой она представлялась с Земли тысячи лет назад, могут сказать, каким небо будет через 100 лет, могут предсказать небесные явления значительно точнее, чем метеорологические условия на своей собственной планете. Успехи в завоевании космоса, которыми ознаменовались последние годы, блестяще подтвердили точность всех астрономических расчетов.

Но информация, которую несут световые лучи, ограничена. Из их анализа нельзя получить все сведения о Вселенной, которые нужны науке. Поэтому исключительно ценным оказалось открытие второго «окна прозрачности», о существовании которого можно было догадываться уже давно, но начало обследования и использования которого стало возможным лишь в последние 10—15 лет благодаря успехам радиоэлектроники. Через это «окно» к нам на Землю из космического пространства могут проникать (и уходить с Земли в обратном направлении) радиоволны длиной примерно от 1 *см* до 30 *м*, т. е. от 30 000 до 10 *Мгц*. Волны более длинные и более короткие поглощаются атмосферой и через нее не проходят.



Впервые это «окно» было практически использовано в 1946 г. для радиолокации Луны. С тех пор радиолокаторы много раз «прощупывали» Вселенную в рамках нашей Солнечной системы. Чрезвычайно удачной была наша радиолокация Венеры в 1961 г. Сигналы радиолокаторов добрались уже до Солнца, Марса и даже Юпитера.

Но радиолокация является лишь небольшой частью в использовании второго «окна» во Вселенную — радиоокна. Испытания и исследования радиоволн, доносящихся к нам из космоса, показали, что эти волны возбуждаются небесными телами и несут дополнительную информацию, которую часто невозможно получить от световых лучей.

Заметим здесь для пояснения, что уже обнаружено много темных скоплений материи, излучающих радиоволны, но не излучающих световые волны и поэтому остававшихся неизвестными. В результате начала быстро развиваться новая отрасль астрономии — радиоастрономия, вооруженная радиотелескопами и другими средствами исследования путем посылки или улавливания радиоволн и анализа их.

С течением времени использование «радиоокна» во Вселенную будет все расширяться. Для связи с космическими кораблями и искусственными спутниками, космонавтами на других планетах и т. п., несомненно, будут пользоваться и этим «окном».

В настоящее время появились данные о существовании еще третьего «окна» прозрачности, находящегося в области очень длинных волн: больше 25—30 *км*. Это вселяет надежды еще более расширить наши возможности исследования Вселенной и связи с космическими кораблями.

---

От антенны передающей радиостанции оторвалась электромагнитная волна и унеслась в пространство. Атмосфера поглощает радиоволны. Лишь для волн некоторой определенной длины атмосфера сравнительно прозрачна (см. стр. 125). Волны более длинные и более короткие поглощаются атмосферой в гораздо большей степени.

В чем состоит «механизм» этого поглощения и почему он оказывается избирательным для волн той или иной длины?

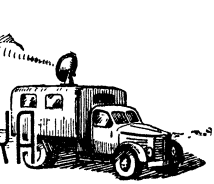
Наша атмосфера представляет собой смесь многих газов и водяного пара. Молекулы и атомы всех этих составных частей атмосферы представляют собой различные сочетания частиц, обладающих электрическим зарядом и

магнитным полем, а также определенной собственной частотой колебания. Движущаяся электромагнитная волна заставляет электрически заряженные частицы колебаться (так же, как она заставляет их колебаться в приемной антенне). Частицы, собственная частота которых совпадает с частотой движущейся волны, начинают колебаться сильно — с большим размахом. На это расходуется энергия, которой взяться больше неоткуда, как от электромагнитной волны. Энергия волны затрачивается на приведение в сильные колебания резонирующих частиц и ослабевает. Чем больше таких частиц и чем длиннее путь, проходимый в атмосфере волной, тем больше она затухает.

Атмосфера состоит из определенных газов, часть которых ионизирована. Эти газы обладают определенными резонансными частотами, которые они и поглощают. Частоты, не встречающие на своем пути резонансных частиц, проходят с минимальным поглощением. Так образуются «окна прозрачности».

---

## Рабочий день импульсного передатчика



Выходные каскады передатчиков радиолокационных станций работают в течение очень коротких промежутков времени, соответствующих посылке импульсов. В промежутках между импульсами выходные каскады таких передатчиков не работают.

Каков же все-таки фактический «рабочий день» выходного каскада такого передатчика? Какой промежуток времени при круглосуточной эксплуатации этот каскад в действительности работает и сколько он отдыхает? Без расчета трудно дать правильный ответ на этот вопрос, потому что высокая частота повторения импульсов — сотни и тысячи раз в секунду — заставляет предположить, что даже при крайне малой длительности самих импульсов суммарная продолжительность их будет не так-то мала.

Попробуем произвести примерный подсчет.

Предположим, что радиолокационный передатчик должен обнаруживать объекты на расстояниях до 150 *км*. Путь, который должна проделать радиоволна, равен 300 *км*. Так как в секунду радиоволна пролетает 300 000 *км*, на преодоление пути в 300 *км* ей потребуется 300 : 300 000 = = 0,001 *сек*, т. е. 1 *мсек*.

Продолжительность импульса такого передатчика пусть будет 1 *мксек*, а число импульсов в секунду равно 1 000, что соответствует установленной нами продолжительности промежутков между импульсами.

Следовательно, такой передатчик излучает только в течение 1/1000 доли рабочего времени.

Сутки содержат 86 400 *сек*. Значит, в течение суток передатчик будет излучать лишь в течение 86 400/1 000 = = 86,4 *сек* = 1 *мин* 24,6 *сек*, т. е. всего лишь 1,4 *мин*! Если эту цифру незначительно округлить, то получится, что 8-часовой рабочий день выходной каскад импульсного передатчика, работающего в таком режиме, выполнит лишь за год.

Таков вероятно несколько неожиданный итог наших подсчетов.

---

В технике связи, акустике, звукозаписи принято характеризовать источники звуков, каналы и аппаратуру для записи, передачи и воспроизведения звуков полосой частот, т. е. совокупностью используемых частот. Полоса частот обычно характеризуется ее пределами: высшей и низшей частотами этой полосы.

Техника связи, включая радиовещание и телевидение, а также звукозапись, в настоящее время не имеет еще возможности оперировать такими полосами частот, какие требуются для полной естественности звучания. Например, для хорошего воспроизведения человеческого голоса нужна полоса частот по крайней мере до 15 000 *гц*, а радиовещательные станции по ряду причин могут использовать полосу частот лишь до 4 500—5 000 *гц*.

В связи с этим интересно, каковы же те полосы частот, которые используются в настоящее время различными видами связи.

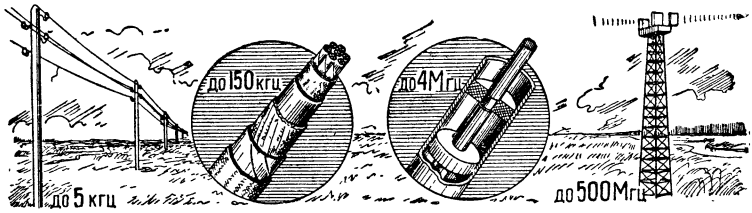
| Род передачи | Используется полоса частот, *гц* |
|---|---|
| Ручной телеграф | 60 |
| Быстродействующий телеграф | 1 200 |
| Телефон (разговор) | 3 400 |
| Радиовещание с амплитудной модуляцией | 4 500 |
| Фототелеграф | 5 500 |
| Трехканальная аппаратура связи | 30 000 |
| Радиовещание с частотной модуляцией и обычной величиной девиации | 75 000 |
| 12-канальная аппаратура связи | 150 000 |
| Телевидение | 8 000 000 |
| Радиолокация | 10 000 000 |

Из перечисленной в таблице аппаратуры радиолюбителям наименее известна многоканальная аппаратура. Это высокочастотная аппаратура проводной связи, в полосе частот которой выделено несколько более узких полос, каждая из которых включает несущую частоту («поднесущую»), модулированную своей звуковой частотой, и может быть применена для передачи. Например, трехканальная аппаратура имеет три таких канала со своими поднесущими частотами. Каждый из каналов может быть использован для одного двустороннего телефонного разговора или 18 телеграфных передач. Следовательно, по трехканальной аппаратуре могут быть одновременно переданы, например, три телефонных разговора или 54 телеграфные передачи, не считая обычного телефонного разговора, который может производиться по тем же проводам на звуковой частоте.

В помещенной ниже таблице приведены полосы частот, которые могут пропускаться современными каналами проводной связи и специальными радиоканалами.

| Канал связи | Полоса частот, *кгц* |
|---|---|
| Обычная междугородная проводная линия (без дополнительных устройств) | 5 |
| Высокочастотный кабель | 150 |
| Специальный междугородный коаксиальный кабель | 4 000 |
| Радиорелейная линия (на сантиметровых волнах) | 500 000 |
| Волноводные линии связи на миллиметровых волнах | До 40 000 000 |
| Линии оптической связи | » 400 000 000 000 |

Как видно из этой таблицы, частотная пропускная способность обычной проводной линии очень мала. Высокочастотные кабели пропускают такую полосу частот, что по ним можно одновременно производить передачу радиовещательной программы, фототелеграфа и очень большого




числа телефонных разговоров и телеграфных сообщений. Специальный высокочастотный коаксиальный кабель может быть использован даже для телевизионных передач. Число одновременных телефонных разговоров может быть очень велико. Еще во много раз шире полоса частот, пропускаемая радиорелейными линиями. По этим каналам могут быть одновременно переданы телевизионные и радиовещательные программы, фототелеграммы и громадное количество телефонных разговоров. Радиорелейные линии и коаксиальные кабельные линии дают, между прочим, возможность объединять телефонные сети разных городов. Это уже отчасти и производится. Например, жители Москвы,

Ленинграда и Киева могут звонить друг другу непосредственно, минуя междугородные станции, и даже разговаривать по видеотелефону — видеть своего собеседника.

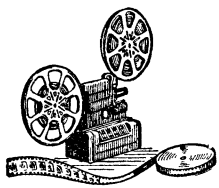
Линии волноводные и оптические представляют собой линии будущего, но не особенно отдаленного. Принципиальная возможность осуществления их выявлена, а техническое освоение в наш век обычно не заставляет себя долго ждать.

Какова же полоса частот звукозаписывающих устройств? Эти данные приведены в следующей таблице.

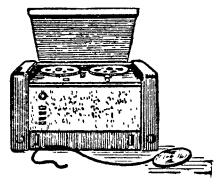
| Вид записи | Полоса записываемых частот, *гц* |
|---|---|
| Механическая запись (граммофонная пластинка) | 60— 6 000 |
| Оптическая запись (киноленты) | 50— 7 000 |
| Магнитная запись (радиовещательные магнитофоны) | 30—10 000 |
| Магнитная запись (видеомагнитофоны) | 30— 3 000 000 |

Наиболее широкая полоса может быть записана магнитным способом. Особенно широкую полосу записывают видеомагнитофоны, предназначенные для записи телевизионных программ.

60-6000 гц



50-7000 гц



30-10000 гц

Какова же полоса частот, воспроизводимая современными устройствами? Ведь именно они определяют качество звучания. Как бы ни были хороши качества микрофонов, линий, усилителей и пр., но наше ухо воспримет только то, что воспроизведет последнее звено цепочки — само звуковоспроизводящее устройство, превращающее электрические, механические, магнитные и т. д. колебания в звук. В следующей таблице приведены соответствующие данные о полосе частот звуковоспроизводящих устройств.

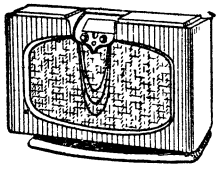
| Звуковоспроизводящее устройство | Полоса воспроизводимых частот, *гц* |
|---|---|
| Механическое (мембрана — рупор граммофона) . . | 100—4 000 |
| Хороший электродинамический громкоговоритель | 80—5 000 |
| Агрегат из двух громкоговорителей . . . . . | 50—6 500 |
| » » нескольких громкоговорителей высокого класса . . . . . | 40—12 000 |
| Специальные агрегаты высшего качества . . . . . | 30—16 000 |

Уровень техники звуковоспроизведения теперь достаточно высок. Воспроизведение стереофонических агре-

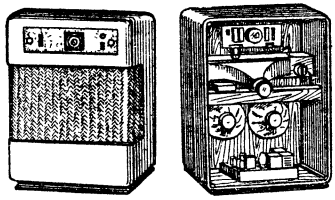
100-4000 гц

80-5000 гц

60-6500 гц



40-10000 гц



30-15000 гц

гатов высшего качества весьма приближается к естественному.

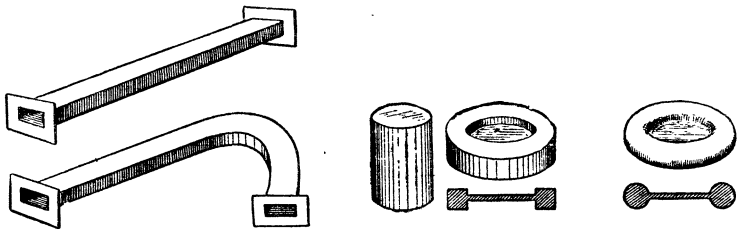
---

Современная радиотехника использует колебания очень высоких частот.

Сверхвысокие частоты обладают рядом особенностей. Так, например, для передачи энергии сверхвысокой частоты

при длине волны всего несколько сантиметров обычные провода совершенно непригодны и даже высокочастотные кабели вносят большие потери. Энергию такой частоты передают по специальным устройствам — волноводам, которые представляют собой полые металлические (чаще всего медные) трубы круглого или прямоугольного сечения, поперечные размеры которых близки к длине волны (но не меньше половины ее). Электромагнитные волны распространяются внутри такой трубы и таким образом передаются, например, от передатчика к антенне или от антенны к приемнику. При этом потери энергии в самом волноводе очень невелики.

Резонансные контуры для таких частот также имеют совершенно непривычную конструкцию. У них отсутствуют отдельные катушки и конденсаторы, так как индуктивность



даже одного витка оказывается чрезмерно большой. Контур для сантиметровых волн представляет собой как бы металлическую банку цилиндрической, прямоугольной или более сложной формы, внутри которой и происходят электромагнитные колебания. Размеры контура зависят от длины волны. У цилиндра, например, диаметр должен быть равен примерно половине длины волны. Контуры такого рода отличаются чрезвычайно высокой добротностью. Они обладают всеми характерными свойствами резонансных контуров и названы объемными резонаторами, так как колебания происходят внутри их объема.

Но этим не исчерпываются особенности аппаратуры для сверхвысоких частот. Одно из многих их поразительных свойств заключается например, в том, что энергию волн длиной в несколько сантиметров можно, оказывается, передавать по линии из изоляционного материала — диэлектрика.

Это не опечатка: именно по «проводнику» из непроводника. Оказывается, если изготовить волновод в виде стержня соответствующих размеров из диэлектрика, обладающего малыми потерями и высокой диэлектрической проницаемостью, то электромагнитная энергия вдоль такого волновода будет распространяться так же, как если бы он был сделан из металлической трубы. На волнах длиной 1—3 *см* такие диэлектрические волноводы оказываются иногда даже более выгодными и удобными, чем металлические.

Теперь нас, пожалуй, уже не удивит и то, что для сантиметровых волн можно применить неметаллическую антенну, а также антенну из изоляционного материала. Такая антенна представляет собой небольшой стержень из диэлектрика, утолщенный с одного конца и постепенно сужающийся к другому. Электрическая мощность подводится к антенне со стороны ее толстого конца. Для излучения волн длиной, например, 10 *см* потребовался бы стержень из полистирола длиной 30—40 *см*, имеющий диаметр порядка 4,5—5 *см* в своей утолщенной части и порядка 3 *см* на тонком конце. Можно применить и другой диэлектрик с малыми потерями.

---

Что произойдет, если два токонесущих провода замкнуть металлической перемычкой? Очевидно, между этими проводами получится короткое замыкание.

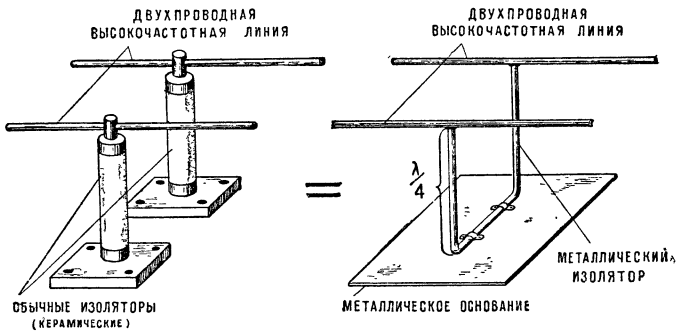
Это, конечно, верно, но не всегда. На постоянном токе металлическая перемычка всегда будет замыкателем. Но при переменном токе металлической перемычке можно придать такую длину, что поведение проводника резко изменится: он как бы потеряет свою способность проводить и превратится в изолятор. Это особенно легко осуществить на сверхвысоких частотах, где перемычки имеют небольшие размеры.

Если, например, двухпроводную линию, по которой передается энергия колебаний с частотой 100 *Мгц* (волна

3 *м*), замкнуть П-образным проводом, боковые стороны которого имеют в длину по 75 *см*, то такая перемычка не явится коротким замыканием: процессы в линии будут происходить так, как будто никакой перемычки нет, как будто перемычка сделана из изоляционного материала. Можно длинную двухпроводную линию укрепить на таких металлических «изоляторах», и никакой утечки энергии не произойдет.

Такое необычайное и противоречащее на первый взгляд здравому смыслу явление объясняется тем, что процессы в проводниках носят особый характер, когда длина провода оказывается соизмеримой с длиной волны. В нашем случае длина стороны металлической стойки (75 *см*) равна четверти длины волны (3 : 4 = 0,75 *м*). Мы получаем отрезок двухпроводной линии длиной в четверть длины волны, замкнутой накоротко с одной стороны. При присоединении такого отрезка к линии, по которой передается энергия колебаний, имеющих ту же длину волны, в нем возбуждаются так называемые стоячие волны, особенностью которых оказывается то, что на открытом конце, т. е. в том месте, где стойка соединяется с линией, ток равен нулю.

А если ток равен нулю, то это эквивалентно случаю, когда сопротивление равно бесконечности. Металлическая четвертьволновая стойка обладает для резонансной частоты бесконечно большим сопротивлением, т. е. является как бы изолятором.




Конечно, как только нужное соотношение нарушится и волна станет длиннее или короче резонансного значения, т. е. высота стойки не будет равна четверти длины волны,

металлическая стойка потеряет свои «изоляционные» свойства и станет потреблять энергию.

Другой, замкнутый накоротко конец стойки тоже обладает интересным свойством: стоячая волна располагается так, что на этом конце напряжение высокой частоты равно нулю. А это значит, что его можно укрепить на заземленной металлической поверхности и никакой утечки тока это не вызовет.

Это замечательное свойство четвертьволновой замкнутой накоротко на одном конце линии находит широкое применение в технике метровых и сантиметровых волн. На более длинных волнах характер этого явления сохраняется, но «металлический изолятор» оказывается слишком длинным и практически неприменим. Например, на самой короткой волне средневолнового диапазона четвертьволновая линия имела бы длину 50 *м*. Даже на коротких волнах четверть волны составляет несколько метров.

---

## НАГРЕВ в холодной СПИРАЛИ

Обязательным условием хорошей работы радиолампы является высокий вакуум. Но для того чтобы обеспечить нужную степень вакуума (см. стр. 26), недостаточно только откачать из баллона лампы воздух. В металле, из которого сделаны электроды лампы и их держатели, содержится довольно много газов: кислорода, водорода, азота и др. Их называют окклюдированными газами.

С течением времени, в особенности в связи с неизбежным при работе лампы нагревом электродов, окклюдированные газы выделяются из металла, вакуум ухудшается и лампа перестает работать нормально.

Составить представление о количестве содержащихся в металле газов можно по такому примеру: если из 1 $мм^3$ никеля, часто служащего материалом для изготовления анодов ламп, удалить весь окклюдированный в нем газ, то

этот газ при нормальном атмосферном давлении займет объем 100 $мм^3$.

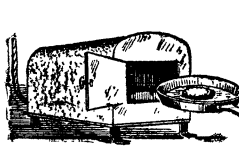
Лучше всего освобождать металл от газов нагреванием, но нагрев надо производить в уже откачанном баллоне, продолжая откачку по мере выделения газа. Как же это сделать?

На вакуумных заводах нагрев электродов осуществляют очень простым и эффективным способом. На баллон лампы, находящейся на откачном станке, надвигается спираль из нескольких витков медной трубки, и все металлические части, находящиеся внутри баллона, почти моментально раскаляются докрасна. Температура их доходит до 1 000° С. При таком сильном нагреве из металла выделяется весь газ, который сейчас же откачивается насосом. Высокий вакуум лампы теперь обеспечен.

Но что же это за чудодейственная спираль? Попробуем осторожно прикоснуться к ней рукой. Странно, на ощупь она совсем холодная. В ее внутреннее пространство тоже можно поместить палец без всякого опасения — палец никакого тепла чувствовать не будет. Но если у вас на палец надето кольцо, то вам этот опыт проделывать не стоит — кольцо немедленно раскалится и обожжет палец.

Секрет удивительной спирали, накаливающей докрасна металлы и совершенно холодной на ощупь, прост. По спирали пропускаются токи высокой частоты. Для поля, создаваемого этой спиралью, стеклянная колба и пустота внутри нее не являются преградой. Создаваемое спиралью быстропеременное магнитное поле пересекает металлические предметы, находящиеся в зоне его действия, вследствие чего в них развиваются столь сильные вихревые токи, что металл раскаляется. Но наше тело магнитное поле не нагревает: из-за большого сопротивления в нем не могут возникнуть сколько-нибудь значительные токи, поэтому мы можем безнаказанно помещать руку внутрь спирали.

Метод нагрева токами высокой частоты с его замечательными возможностями был перенесен из вакуумной промышленности в другие отрасли народного хозяйства, где он находит все более широкое применение.



# КАК разогреть КОТЛЕТУ

Не думайте, что эта проблема, во-первых, очень проста и, во-вторых, не имеет никакого отношения к радиотехнике.

У нас есть холодная котлета. Как ее разогреть?

Со стародавних времен это делается очень примитивно. Котлету кладут на сковородку и помещают на огонь. Огонь нагревает сковородку, сковородка нагревает прилегающий к ней поверхностный слой котлеты. От этого слоя тепло медленно — в силу малой теплопроводности материала — распространяется внутрь котлеты. Для ее прогревания, даже при условии частого перевертывания, требуется много времени. А поверхностный слой котлеты в это время пересыхает, пережаривается, превращается почти в уголь. Вкус котлеты ухудшается.

Можно ли сделать так, чтобы котлета моментально прогревалась вся насквозь, не покрываясь коркой и не теряя вкуса?

Развитие радиотехники позволило разрешить эту кулинарную проблему. Удобный способ разогрева можно осуществить при помощи токов высокой частоты, причем огромная ценность высокочастотного нагрева, разумеется, определяется отнюдь не только кулинарными его применениями.

Токи высокой частоты все глубже проникают в самые различные отрасли народного хозяйства. При этом ряд своеобразных особенностей, свойственных высоким частотам, позволяет применять их для противоречивых на первый взгляд целей.

Сравним, например, такие две области использования токов высокой частоты, как закалка стальных изделий и сушка дерева.

Сущность закалки заключается, как известно, в том, чтобы резко повысить твердость и прочность изделия на поверхности, сохранив в то же время без изменения глубинные слои металла — «сердцевину» изделия, иначе металл станет хрупким. Высокочастотная закалка отлично справляется с этой задачей, позволяя раскалить до нужной температуры только тонкий слой металла у самой поверх-

ности, не нагревая при этом его внутренних слоев. По качеству закалки и производительности этот новый метод оставляет далеко позади старые термические методы закалки металла, применявшиеся в течение веков.

В другой области — области прогрева и сушки неметаллических материалов, например дерева (и котлеты тоже), — ставится противоположная задача: прогреть материал одинаково равномерно по всей его глубине. И эта задача оказалась по плечу токам высокой частоты: высокочастотная сушка дерева как по качеству обработки, так и по сокращению количества времени, необходимого для нее, дает несравненно лучшие результаты, чем все другие тепловые способы, применяемые для этой цели.

Как же удается заставить токи высокой частоты выполнять такие совершенно различные требования?

Дело здесь в том, что в технике высоких частот мы можем отдельно использовать магнитные и электрические поля. В катушке колебательного контура энергия переходит в магнитное поле, а в конденсаторе — в электрическое. Когда в катушку, по которой проходит сильный ток высокой частоты, помещают предмет из стали, высокочастотное магнитное поле вызывает появление в нем вихревых токов такой же частоты. Но вследствие поверхностного эффекта эти токи распространяются только в верхнем слое металла, а в глубине они резко ослаблены или даже вообще отсутствуют. В результате из-за разогрева этими поверхностными токами у стального изделия образуется как бы раскаленная докрасна рубашка. Происходит все это настолько быстро, что, несмотря на высокую теплопроводность металла, в глубину нагрев распространиться не успевает. После резкого охлаждения раскаленного слоя на поверхности изделия остается твердый износоустойчивый покров, сердцевина же никаких структурных изменений не претерпевает, металл там сохраняет свою вязкость.

Подбирая частоту тока, можно прогревать металл на разную глубину. Чем ниже частота, тем глубже закалка (см. табл. на стр. 140).

Если в ту же катушку поместить кусок дерева или какого-либо другого неметаллического материала, то с ним ничего не произойдет — магнитное поле его не нагреет.

Иная картина получится, если дерево будет помещено между обкладками конденсатора колебательного контура.

Быстропеременное электрическое поле приводит к появлению в неметаллических материалах диэлектрических потерь, которые вызываются, с одной стороны, токами проводимости, возникающими в таких материалах вследствие несовершенства их изоляционных свойств, а с другой — «трением» между молекулами, которые меняют свое положение внутри вещества при каждой перемене направления электрического поля. Чем выше частота тока, тем больше диэлектрические потери этих видов.

| Глубина закаливаемого слоя, *мм* | Частота, *гц* |
|---|---|
| 0,5— 1 | $5 \cdot 10^5$—$10^6$ |
| 1— 2 | $10^5$—$3 \cdot 10^5$ |
| 2— 5 | 15 |
| 3— 8 | 2 |
| 8—15 | 0,5 |

В отличие от токов высокой частоты в металлах, которые распространяются в основном только по поверхности, диэлектрические потери имеют место во всей толще материала, а следовательно, и прогрев его происходит равномерно по всей толщине. В этом заключается главнейшее отличие такого способа нагрева от всех других методов, основанных на использовании внешнего тепла; там нагрев начинается снаружи, и тепло лишь постепенно проникает внутрь тела. Преимущества такого «сплошного» прогрева огромны: он позволяет во много раз сократить время сушки и прогрева и почти полностью устранить брак, который был неизбежен при применении прежних методов из-за неравномерности нагревания по толщине (например, растрескивание дерева). Этот способ позволяет почти моментально разогреть и котлету, разогреть сразу по всей ее толщине.

Для сушки и прогрева неметаллических материалов — дерева, пластмасс и многих органических веществ — применяются токи значительно более высоких частот, чем для закалки: примерно от 300 *кгц* до 20, а в отдельных случаях даже до 100 *Мгц*. Выбор частоты зависит от назначения высокочастотной установки. Например, для сушки дерева хорошие результаты дают частоты 300—500 *кгц*, для предварительного прогрева пластмасс перед прессованием 20—40 *Мгц*, а для склеивания плоских слоистых пластмасс типа

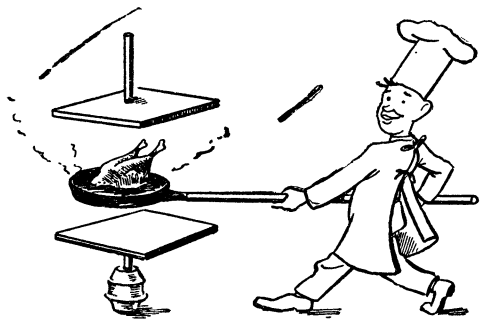
гетинакса и текстолита еще более высокие частоты 40—100 *Мгц*.

Чем лучше изоляционные свойства прогреваемого материала, тем более высокая частота тока нужна, чтобы вызвать в материале достаточно большие диэлектрические потери.

Так, используя в отдельности магнитное и электрическое поля, создаваемые токами высокой частоты, можно получить при помощи них самые различные и на первый взгляд противоположные по своему характеру результаты.

* *
*

Чрезвычайно быстрое развитие техники в наше время дает интересную возможность на протяжении сравнительно немногих лет проследить, как техническая шутка превращается в более или менее обоснованный прогноз, а послед-



ний очень быстро реализуется. Карикатура-шутка, помещенная выше заимствована из журнала «Радио» за 1947 г. 17 лет назад идея использования токов высокой частоты для кулинарных целей могла быть выражена только в виде шутки. В первом издании настоящей книги эта идея была уже вынесена в заголовок очерка о применении токов высокой частоты. А когда было уже сверстано второе издание «Занимательной радиотехники», в газете «Вечерняя Москва» появилась следующая заметка:

# На ВДНХ

## ЧУДО-ПЕЧЬ

Приготовить праздничный обед на десять человек за двенадцать с половиной минут—ведь это непосильно ни для самой опытной хозяйки, ни даже для кулинара-виртуоза.

Между тем такую задачу решили люди, далекие от кулинарии. Группа работников Научно-исследовательского института токов высокой частоты создала опытный образец чудо-печи. Гуся, утку, курицу можно зажарить в ней за шесть минут, сварить килограмм мяса — за две с половиной минуты и за четыре минуты испечь килограммовый бисквит.

Приготовить пищу с такой быстротой помогают токи сверхвысокой частоты.

Чудо-печь демонстрируется в павильоне Российской Федерации ВДНХ. Первые четыре такие печи скоро появятся на предприятиях общественного питания (ТАСС).

(«Вечерняя Москва», № 183 от 6 августа 1962 г.)

---

## Застывшие заряды

Каким образом электрические заряды могут застыть? Ведь они отличаются исключительной подвижностью. Именно на этом их свойстве основана работа электронных приборов, которым обязаны грандиозные успехи современной техники.

И второй вопрос: чем может быть полезно то, что заряды застынут? Застывший заряд неподвижен, неуправляем, а ведь как раз движение зарядов и управление их движением являются основой работы электронных и электрических устройств.

Тем не менее все же заряды могут застывать и в таком виде приносят несомненную пользу, упрощая решение многих технических задач.

Движущийся заряд создает в окружающем пространстве магнитное поле. Такое поле образуется вокруг провода, по которому течет ток. Если свить провод в катушку, то магнитное поле усилится, а если внутрь катушки поместить железный сердечник, то он превратится в магнит с очень сильным полем. Такие устройства — электромагниты — во всевозможных разновидностях применяются исключительно широко.

Но для поддержания электромагнита в рабочем состоянии нужно беспрерывно пропускать по его обмотке электрический ток. Это далеко не всегда бывает рационально. В очень многих случаях было бы удобно получать магнитное поле, не затрачивая электроэнергии.

Мы знаем, что это возможно. Существуют постоянные магниты. Они создают в пространстве вокруг себя неизменное магнитное поле, на поддержание которого не нужно затрачивать энергии. В результате электромагниты применяются только тогда, когда это действительно необходимо, в других же случаях они заменяются постоянными магнитами.

Было бы очень удобно иметь прибор, создающий столь же неизменное электрическое поле. Принципиально это кажется легко осуществимым. Любой электрический заряд возбуждает вокруг себя электрическое поле. Чтобы получить поле достаточно осязаемой величины, надо только сконцентрировать в одном месте некоторое количество одноименных зарядов. Но в действительности сделать это крайне трудно.

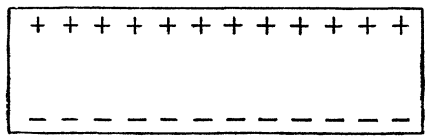
В проводниках заряды очень подвижны, разделить их легко, приложив к проводнику электрическое поле. Но вследствие своей подвижности заряды, после того как будет снято поле, моментально распределятся равномерно по всему объему проводника, заряды разных знаков «перемешаются», и никакого внешнего поля у проводника не будет. Можно было бы пойти на хитрость и, разделив заряды разных знаков, поместить между ними изолятор. Таким прибором мы пользуемся—это конденсатор. Он очень полезен, но это совсем не то, что магнит. Магнит сохраняет намагниченность годами и десятилетиями, его можно замыкать железом и т. д. Магнит можно испортить только сильным

нагреванием и резкими ударами, вообще же это очень постоянный прибор. Совсем не то конденсатор. Сконцентрированные на его пластинах заряды стекают при первой возможности. Разряд конденсатора произойдет моментально при касании его пластин проводником. Но если короткого замыкания и не произойдет, то конденсатор все равно разрядится через несколько суток через воздух, влажную пленку, образующуюся на изоляторе, и пр.

В изоляторе заряды не могут свободно передвигаться, но зато там их нельзя и разделить. Поле, приложенное к изолятору, не произведет разделения имеющихся в нем зарядов. В полупроводнике заряды могут с трудом передвигаться; их можно разъединить полем, но после снятия поля они скоро снова растекутся равномерно по всему объему полупроводника.

Таким образом, ни проводники, ни полупроводники, ни изоляторы не дают возможности изготовить путем разделения зарядов электрическое подобие магнита. Для создания постоянного электрического поля, для удержания электрических зарядов разделенными приходилось непрерывно затрачивать энергию: химическую в гальванических элементах и аккумуляторах, механическую в динамомашинах, тепловую в термоэлементах и т. д.

Но все же в конце концов задачу удалось решить. Уже более 200 лет назад (в 1756 г.) профессор Петербургского



университета Ф. Эпинус при исследовании пироэлектрических явлений заметил, что кристаллы турмалина при охлаждении задерживают электрические заряды. Длительное изучение подобных явлений многими учеными, в том числе Фарадеем, позволило установить, что в известной степени «заморозить» разделенные заряды можно при переходе некоторых веществ из жидкого состояния в твердое. Задержание зарядов происходит лучше всего, если к некоторым воско- и смолообразным материалам подвести напряжение, когда они расплавлены и помещены между двумя проводящими обкладками, и поддерживать это напряжение

все время, пока взятые материалы не затвердеют. Когда затвердевание наступает, можно снять напряжение и отнять обкладки — заряды на поверхности материала останутся и, следовательно, будут создавать в окружающем пространстве электрическое поле. Заряды не исчезают даже в случае короткого замыкания.

Приборы такого рода получили название электретов, но уровень техники того времени не позволял найти практическое применение этому свойству некоторых материалов.

В наши дни изучению электретов уделено большое внимание. Было найдено несколько способов изготовления электретов.

Термоэлектреты получались в результате уже упомянутого затвердевания расплавленного материала в электрическом поле.

Для изготовления фотоэлектретов вместо нагревания и последующего охлаждения применяется облучение светом.

Электроэлектреты можно изготовить путем приложения электрического напряжения к некоторым (немногим) веществам без их нагревания или освещения.

Наконец, найден еще и четвертый способ изготовления электретов, которые назвали псевдоэлектретами. Приставка «псевдо» относится не к существу прибора, не к действию его, а лишь к физике получения «электретного эффекта». У «настоящих» электретов разделенные заряды образуются в результате внутренних процессов, а у псевдоэлектретов заряды сообщаются материалу извне путем облучения альфа-, бета- или гамма-лучами. Название, по-видимому, не совсем удачное, так как фотоэлектреты надо в таком случае тоже отнести к группе «псевдо».

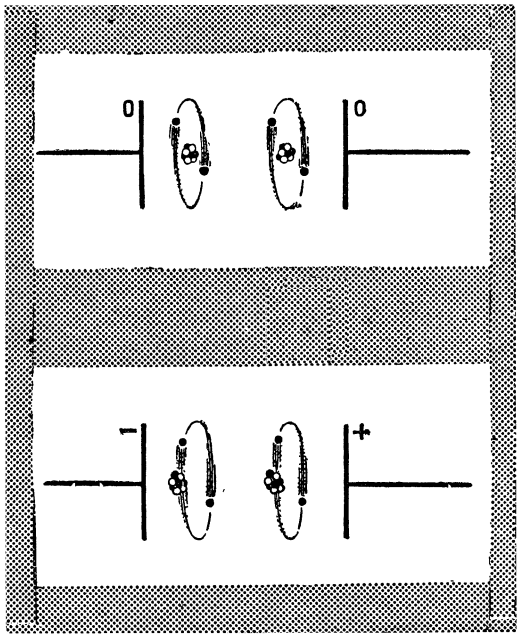
Физические процессы, происходящие в электретах, еще неясны до конца, но уже предложено несколько гипотез, удовлетворительно объясняющих эти процессы.

По одной из гипотез электроны или ионы, приобретающие в жидком материале подвижность, в той или иной степени концентрируются так, как заставляет их делать это приложенное электрическое поле, а затем, по затвердевании материала, они не могут перераспределиться.

Согласно другой гипотезе электронные оболочки атомов несколько смещаются относительно ядра, вследствие чего нейтральный атом превращается в диполь. Это явление подобно поляризации атомов твердого диэлектрика в кон-

денсаторах. После снятия поля поляризация атомов в электретах сохраняется.

Третья гипотеза относится к таким веществам, которые образованы из поляризованных молекул. Эти молекулы в обычном состоянии ориентированы хаотически, и их поля взаимно уничтожаются. При подведении поля к жидкому материалу молекулы в какой-то степени ориентируются в соответствии с ним и по затвердевании материала в таком положении.




Несколько яснее картина в отношении фотоэлектретов: здесь, очевидно, происходит выбивание электронов из атомов наподобие внутреннего фотоэффекта у фотоэлементов. У псевдоэлектретов, получаемых чаще всего при облучении электронами (бета-лучами), электроны входят на некоторую глубину в материал и застревают в нем.

Действительная картина процессов, происходящих при формировании электретов, часто бывает затемнена тем, что это формирование обусловлено не одним каким-нибудь способом, а двумя или больше одновременно. Этим, по-види-

мому, объясняется то, что некоторые электреты после формирования имеют одну полярность, а через некоторое время меняют ее на обратную. В таком случае механизм образования электрета двоякий, причем один из них обусловливает полярность одного направления, а второй способ — другого направления. Вначале полярность электрета по величине равна разности напряжений обеих полярностей и имеет знак большей. Затем первая полярность перестает существовать и остается только вторая.

Естественно, что образовавшаяся в итоге того или иного процесса разность потенциалов на концах электрета не исчезает и при коротком замыкании. Если электрет замкнуть проводником, то по нему ток не пойдет, так как заряды электрета вследствие своей неподвижности не могут переходить в провод.

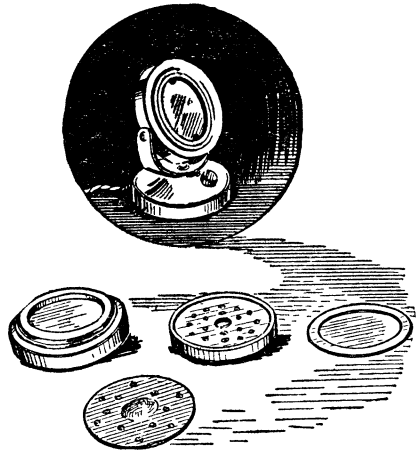
Электреты подобны магнитам в отношении возможности деления на части. Как каждый кусок разломанного магнита тоже является магнитом, так и куски разломленного электрета имеют электрическую полярность и создают электрическое поле.

Первые электреты делались из смеси карнаубского воска (растительный воск, покрывающий листья одного из видов бразильской пальмы), смолы и небольшой прибавки пчелиного воска. В дальнейшем было найдено много веществ, обладающих свойством электретов; к ним относятся, например: плексиглас, сахар, слюда, эбонит, сера, титанат цинка, титанат кальция, титанат бария, стеатит, нафталин и др. Современные электреты часто делаются из керамики.

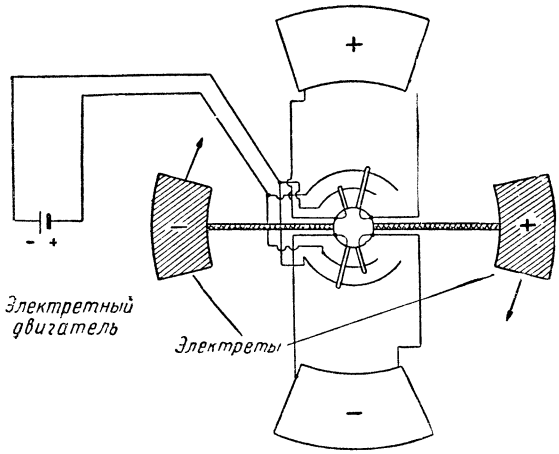
Практическое применение электретов по существу только начинается, но оно уже весьма разнообразно.

Постоянное электрическое поле, создаваемое электретами, позволяет с успехом применять их для изготовления микрофонов и телефонов. Микрофон состоит из плоского электрета и расположенной на очень малом расстоянии от его поверхности (около 0,1 *мм*) мембраны. В мембране, находящейся в поле электрета, вследствие индукции будет наводиться напряжение. Доходящие до микрофона звуковые волны заставят мембрану вибрировать, отчего на ней возникнет переменное напряжение. Звуковая энергия будет преобразована в электрическую, через нагрузочное сопротивление в цепи мембраны потечет переменный ток звуковой частоты и т. д.

Такой электретный микрофон не нуждается в источнике тока, он может работать и как телефонная трубка, т. е. является обратимым прибором.



С электретными микрофонами-телефонами связана интересная история. Во время второй мировой войны амери-



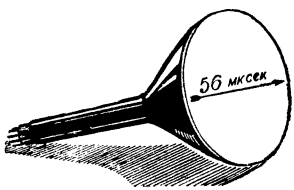

канцы обнаружили на одном захваченном японском военном корабле странный телефон: он работал без источников тока. Отсутствовали в нем также магниты и обмотки. Только

впоследствии было выяснено, что основой японского микрофона и телефона служил электрет, работа которого определялась новыми, неизвестными дотоле физическими явлениями.

Возбуждение в проводнике напряжения во время приближения к электрету и удаления от него используется для различных устройств: вибродатчиков, генераторов высокого напряжения, электродвигателей и др. Электреты используются для изготовления фильтров для очистки газов, дозиметров проникающей радиации, измерителей атмосферного давления, электрометров и т. д. Электреты дают возможность делать запоминающие устройства и даже... фотографии — электрические фотографии, не нуждающиеся в химикалиях. В общем, как невозможно перечислить все случаи применения постоянных магнитов, так нельзя привести и перечень всех реально опробованных и в значительной части эксплуатирующихся применений электретов.

Электреты, транзисторы, ферриты, молекулярные усилители, параметрические усилители, лазеры и другие новинки последних лет являются элементами радиоэлектроники будущего, характерной малыми размерами устройств, высокой надежностью и экономичностью, большой точностью и огромной отдачей.

---



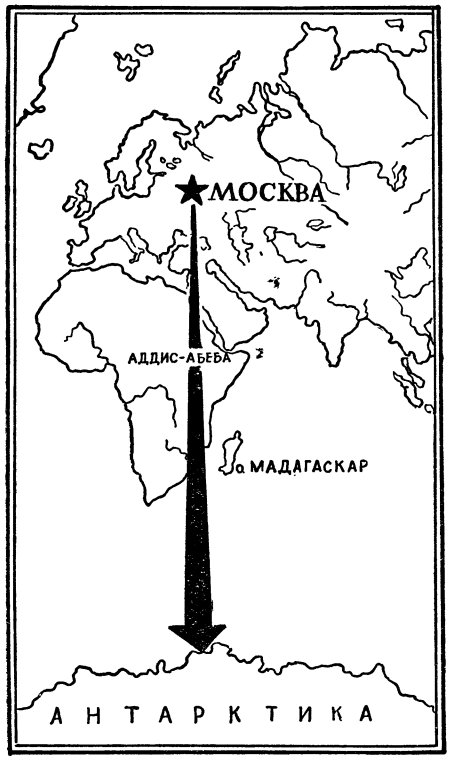

## Тысячи километров по экрану телевизора

Строку за строкой прочерчивает электронный луч на экране телевизора. Из строк складываются кадры, смена кадров порождает на экране движение. На экране плещется море, мчатся поезда и автомобили, работают станки, трудятся и отдыхают, веселятся и горюют люди. Полтора часа проводим мы перед экраном телевизора, пока передается новый кинофильм, живем одной жизнью с его героями, вместе с ними преодолеваем препятствия и вместе с ними радуемся их успехам и победам.

Вот промелькнул последний кадр, и фильм закончился. Какое же расстояние и с какой скоростью пробежал электронный луч по экрану за эти полтора часа?

Это нетрудно подсчитать. По действующему у нас стандарту телевизионное изображение делится на 625 строк; в секунду передается 25 кадров. Следовательно, в секунду электронный луч прочерчивает $25 \times 625 = 15\,625$ строк.

Продолжительность прочерчивания одной строки составляет $1 : 15\,625 = 0{,}000064$ *сек* $= 64$ *мксек*.




За эти 64 *мксек* электронный луч не только прочерчивает на экране видимую нами строку, но и совершает «прыжок» к началу следующей строки. Время обратного хода равно примерно 8 *мксек*, поэтому действительная длительность пробега лучом одной строки равна приблизительно 56 *мксек*.

Теперь уже легко ответить на поставленные вначале вопросы. У телевизора с 18-сантиметровой электронно-лучевой трубкой длина строки 14 *см*. Значит, телевизионная «точка» за 56 *мксек* пробегает 14 *см*. В секунду она пробежит 14 : 0,000056 = 250 000 *см*, а за час — еще в 3 600 раз больше: 250 000 · 3 600 = 900 000 000 *см* = 9 000 *км*.

Телевизионная «точка» мчится по самому маленькому экрану телевизора со скоростью 9 000 *км/ч*. Это вдвое больше начальной скорости винтовочной пули. За время передачи кинокартины, т. е. за 1,5 *ч*, «точка» совершит по экрану телевизора путешествие в 13 500 *км*. Представим себе, что, начав свой бег в Москве, эта «точка» направилась на юг. Немногим больше чем через 8 *мин* она достигнет Черного моря в районе Новороссийска. Через 33 *мин* после вылета из Москвы наша быстрокрылая «точка» пролетит мимо Аддис-Абебы — столицы Эфиопии. Еще через 7 *мин* она, несясь по равнинам Центральной Африки, вблизи оз. Виктория пересечет экватор. Спустя 13 *мин* на траверсе о. Мадагаскар она расстанется с Африкой и ринется в воды Индийского океана. Наконец, в те секунды, когда мы будем прощаться с героями фильма, наша телевизионная «точка» достигнет Южного полярного круга и закончит свой стремительный бег где-то на подступах к Антарктике.

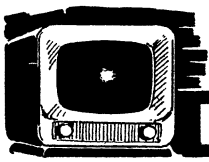
Такова «протяженность» кинокартины, разложенной на телевизионные строки. Заметим, кстати, что кинолента с кадрами этой картины имеет длину 2 700 *м*.

Несмотря на то, что приведенные числа очень велики, они для телевидения являются минимальными, поскольку мы в качестве примера взяли экран телевизора КВН-49 — самый маленький из телевизионных экранов. Экраны телевизоров других типов больше, поэтому и соответственные цифры для них тоже больше. Некоторых из них приведены в таблице.

| Телевизор | Длина строки, *см* | Скорость движения точки по экрану, *км/ч* | Путь, проходимый точкой за 1,5 *ч* |
|---|---|---|---|
| «Рекорд» . . . . . | 28 | 18 000 | 27 000 |
| «Рубин» . . . . . | 34 | 21 000 | 31 500 |
| «Алмаз» . . . . . | 44 | 28 000 | 42 000 |
| «Топаз» (проекционный) . . . . . | 120 | 77 000 | 115 500 |

Из таблицы видно, что особенно велики числа, относящиеся к проекционным телевизорам. За время передачи кинокартины пробег точки по экрану клубного проекционного телевизора «Топаз» почти в 3 раза превышает длину окружности земного шара, т. е. «точка» совершает три кругосветных путешествия.

---



## Светящееся пятно на экране телевизора

Кто не помнит тот торжественный момент, когда в первый раз включается приобретенный телевизор! Для нового телезрителя нет неинтересных передач. Он смотрит все от начала и до конца.

Но вот ведущая передачу с приятной улыбкой пожелала доброй ночи. Уже отзвучал последний аккорд. Владелец телевизора берется за выключатель. Щелчок! И вдруг на экране вспыхивает яркое пятно. Иногда это бывает не пятно, а совсем маленькая блестящая точка, удерживающаяся довольно долго.

Хозяина телевизора охватывает тревога. Не означает ли пятно или точка неисправность телевизора? Не грозит ли это быстрой порчей телевизора? Почему возникает светящееся пятно или точка, когда телевизор выключен? Тысячи писем с такими вопросами летят в радиоконсультации, редакции, телецентры и радиокомитеты.

Чем же объясняется это явление?

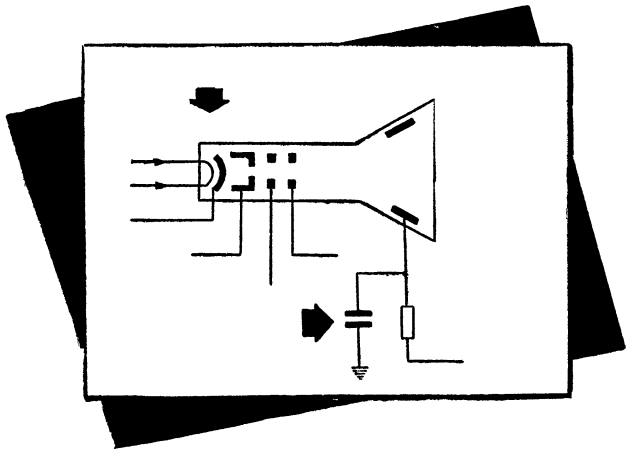
Для того чтобы экран светился, надо, чтобы об него с достаточной силой ударялись электроны. Электроны в кинескопе испускает катод, разгоняются они до нужной скорости анодным напряжением. Значит, излучение электронов катодом должно продолжаться и после выключения телевизора и одновременно с этим должно сохраняться и анодное напряжение.

Именно это и происходит в телевизоре. Катод кинескопа подогревный, он обладает большой тепловой инер-

цией. Остывает он медленно и некоторое время после выключения телевизора продолжает сохранять такую температуру, при которой продолжается излучение электронов. Кроме того, около катода образуется, как у всех электронных ламп, облачко электронов, рассасывание которого в известной степени способствует поддержанию потока электронов и некоторое время после прекращения излучения катодом. Поэтому поток электронов в кинескопе не прекращается немедленно после выключения телевизора.

Высокое напряжение подается на трубку через фильтр, содержащий конденсатор. Если изоляция конденсатора хороша, то он сохраняет заряд (как говорят, «держит заряд») некоторое время после того, как высоковольтный выпрямитель перестает работать вследствие выключения телевизора.

Таким образом, какое-то время после выключения телевизора существуют условия, необходимые для свечения экрана: катод излучает электроны, на аноде имеется высокое напряжение. Под его воздействием электроны устремляются к экрану, ударяются об него и заставляют его светиться.



Какая же часть поверхности экрана будет светиться? Это зависит от ряда причин.

В телевизорах старых типов с круглыми электронно-лучевыми трубками применялась магнитная фокусировка.

Нужное для фокусирования магнитное поле создавалось катушкой, через которую протекал ток. С выключением телевизора ток этот прекращался, фокусирующее магнитное поле переставало существовать. Поэтому излучаемый катодом пучок электронов не фокусировался. Диаметр пучка определялся главным образом диаметром горловины трубки. Ток развертки отсутствовал, поэтому электронный луч, «сформированный» при помощи горловины трубки, ударялся в середину экрана и вызывал появление на нем светящегося пятна диаметром 2—4 *см*. Форма пятна в общем получалась круглой, но при дефектах катода светящееся пятно могло получиться неправильной формы, иногда рваным.

У прямоугольных электронно-лучевых трубок фокусировка электростатическая. Основные условия возникновения светящегося пятна у этих трубок такие же, как и у круглых трубок, но при хорошей изоляции деталей напряжение фокусировки сохраняется некоторое время после выключения телевизора. Поэтому электронный луч фокусируется и на экране этих трубок возникает не светящееся пятно, как у трубок с круглым экраном, а лишь маленькое яркое пятнышко. Яркость его, естественно, больше яркости светящегося пятна на экране круглых трубок, потому что электроны в этом случае не рассеиваются на поверхности довольно большого пятна, а концентрируются в маленьком пятнышке.

О чем же говорит светящееся пятно или точка на экране телевизора?

Они говорят о том, что катод электронно-лучевой трубки обладает хорошей эмиссией, а изоляция конденсатора фильтра высоковольтного выпрямителя вполне доброкачественна. Таким образом, пятно или точка не есть дефект

телевизора, как иногда думают. Наоборот, их появление свидетельствует о хорошем качестве трубки и фильтра высоковольтного выпрямителя.

У светящегося пятна или точки есть еще некоторые особенности, которые вызывают у владельцев телевизоров недоуменные вопросы.

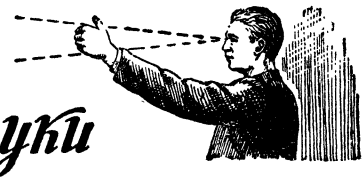
К ним относится, например, такой: почему светящееся пятно держится на экране всего 1—2 *сек*, а точка светится иногда в несколько раз дольше?

Объясняется это просто. Для поддержания свечения большой поверхности пятна нужен электронный луч достаточной интенсивности. Когда он ослабевает свыше какого-то предела, свечение прекращается. Но этот же луч, сконцентрированный в точку, вполне достаточен для того, чтобы вызвать свечение очень малой поверхности экрана. Поэтому точка светится дольше пятна.

Вторая особенность часто кажется совсем непонятной: почему светящаяся точка на экране современных прямоугольных трубок иногда появляется не сразу после выключения телевизора, а спустя некоторое время? Ведь условия, способствующие возникновению точки, наиболее благоприятны именно в первый же момент после выключения телевизора, а в дальнейшем они постепенно исчезают.

Объяснение в этом случае такое: иногда при хороших новых лампах и хороших деталях после выключения телевизора продолжает действовать развертка, вследствие чего ослабленный луч обегает весь экран и вызвать свечение его не может. Но развертка скоро прекращается; главным образом быстро разряжается фильтровый конденсатор сетевого выпрямителя. После этого луч начинает фокусироваться в одной точке и вызывает свечение ее. В тот период времени, когда развертка действует, мы свечения не видим; мы начинаем видеть его только после того, как луч остановится. Внешне это выглядит очень эффектно: телевизор выключен, экран его погас, но вдруг через 1—2 *сек* в его центре возникает ослепительно яркая точка. Опасаться этого явления не нужно. Оно не грозит телевизору порчей.

# Ладонь на расстоянии вытянутой руки



Разрешающая способность нашего глаза такова, что при благоприятном освещении он различает две черные линии на белом фоне лишь в том случае, если промежуток между ними виден под углом не менее чем в одну минуту.

Из геометрии известно, что под углом в одну минуту виден предмет, удаленный на расстояние, в 3 440 раз превышающее его поперечник. Линейка длиной 1 *м* видна под углом в одну минуту с расстояния 3 440 *м*. Следовательно, чтобы увидеть раздельно две линии на экране, находящемся на расстоянии 3,4 *м*, надо, чтобы расстояние между линиями было не меньше 1 *мм*.

При освещении более или менее сильном, чем оптимальное, разрешающая способность глаза уменьшается. Опыты показывают, что при той освещенности, какую имеет в среднем телевизионный экран, разрешающая способность глаза составляет примерно полторы минуты. Из этого следует, что на экране высотой 45 *см*, находящемся на расстоянии 3 *м*, глаз различает примерно 300 горизонтальных линий.

Последние цифры имеют прямое отношение к нашему телевизионному стандарту. Если мы различаем на белом экране 300 горизонтальных линий, то это означает, что на экране нанесено 600 чередующихся черных и белых линий.

Это и есть наш телевизионный стандарт. Этим стандартом предусмотрена развертка изображения на 625 строк, но фактически на экране телевизоров получается несколько меньше строк — примерно около 600. Стандарт установлен, исходя из того, что наш глаз способен разглядеть 600 строк на экране высотой 45 *см* на расстоянии 3 *м*.

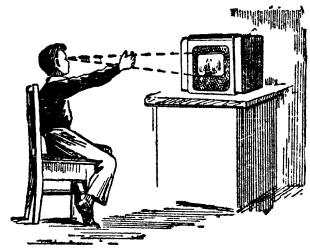
Отношение расстояния от глаза до экрана (3 *м*) к высоте экрана (45 *см*) равно 7. Эта цифра очень важна: она определяет наилучшее расстояние, с которого надо смотреть на экран телевизора. Как видно из приведенного расчета, оно равно семикратной высоте экрана. У телевизора «Рекорд» высота экрана 21 *см*, значит на него надо смотреть с расстояния 147 *см*, чтобы обеспечить условия наилучшей

видимости. В помещенной далее таблице приведены расстояния наилучшей видимости для распространенных размеров телевизионных экранов.

При большем удалении от экрана нормальный человеческий глаз не сможет разглядеть наиболее мелкие подробности изображения; на более близком расстоянии будет сказываться полосатость изображения, т. е. станут резко видны строки.

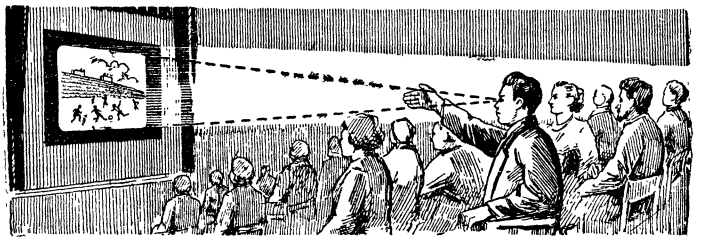
| Размер экрана, *см* | Расстояние, с которого надо смотреть, *см* | Размер экрана, *см* | Расстояние, с которого надо смотреть, *см* |
|---|---|---|---|
| 10 × 14 | 70 | 24 × 32 | 170 |
| 13 × 18 | 90 | 39 × 51 | 280 |
| 18 × 24 | 130 | 300 × 400 | 2 100 |

Для того чтобы найти хорошую позицию перед экраном телевизора, нет нужды обязательно вооружаться метром. Очень удобно пользоваться для этого рукой. Расстояние до экрана телевизора будет нормальным в том случае, когда ладонь вытянутой вперед руки примерно полностью закрывает экран. Воспользуйтесь этим приемом, и вы убедитесь, что он действительно помогает легко найти наивыгоднейшее расстояние до экрана. Если вы пользуетесь телевизором с линзой и экран имеет бо́льшие видимые размеры, чем в приведенной выше таблице, то вам придется отодвинуться от него дальше. При любых размерах экрана наилучшая видимость будет тогда, когда ладонь вытянутой руки примерно совпадет с экраном.



Интересно, что этот прием действителен и в кино. Если сесть в кинотеатре на самые лучшие места — примерно в 14—16-м ряду — и вытянуть перед собой руку, то ладонь как раз закроет экран. Из более близких рядов изображение на экране уже представляется несколько расплывчатым, а из более далеких его видимые размеры уменьшаются настолько, что наиболее мелкие детали изображения пропадают. Средние ряды обеспечивают наивысшую четкость и оптимальный размер изображения.

Это, между прочим, показывает ошибочность утверждений, что «в кино видно лучше, чем в телевидении, потому что киноэкран больше». В кино экран действительно больше, чем у телевизоров, но зрители сидят от него гораздо дальше, поэтому видимые размеры киноэкрана и экрана телевизионного примерно одинаковы. Применив упомянутый метод



«вытянутой руки», легко убедиться в этом. Телевизионный экран и киноэкран из лучших рядов мы видим под одинаковым углом — около 12° по горизонтали. Но мы знаем, что киноэкран больше, поэтому нам кажется, что его угловые размеры больше. Сказывается здесь также и то, что когда мы смотрим на более близкий телевизионный экран, нам приходится больше сводить оптические оси обоих глаз, чем когда мы смотрим на более удаленный киноэкран, а по мышечному усилию, нужному для этого, мы бессознательно привыкли оценивать расстояние.

Видно в кино лучше главным образом потому, что там выше четкость. На киноэкране число элементов превышает миллион. Подобная четкость в телевидении еще не достигнута (меньше полмиллиона элементов), но возможно, что она будет достигнута в будущем.

---

В начальном периоде развития кинематографии съемка кинофильмов производилась со скоростью 16 кадров в секунду. Затем она была увеличена до 24 кадров в секунду.

При выработке телевизионных стандартов была установлена передача 25 кадров в секунду.

Чем объясняется такой разнобой?

Физиологические особенности нашего зрения таковы, что мы не замечаем перерывов между отдельными последовательно передаваемыми снимками, если продолжительность перерывов не превышает $^1/_{16}$ *сек* (см. стр. 92). Если передавать в секунду меньше 16 кадров, то движение уже не будет слитным, оно будет прерывистым. Увеличение числа кадров полезно, но оно сопряжено с усложнением аппаратуры. Поэтому техника конца прошлого века остановилась на минимально достаточном для кино числе кадров: 16 кадрах в секунду.

Многолетняя практика кино показала, однако, что такое предельное число кадров не обеспечивает достаточно высокого качества кинокартин. При демонстрации с такой скоростью заметно известное мелькание, утомляющее глаза. Окрепшая к тому времени техника кино позволила увеличить число кадров в секунду до 24, т. е. в 1,5 раза. Этот стандарт в кино сохраняется до сих пор.

При разработке телевизионных стандартов был учтен опыт кино. Эксперименты показали, что при таком стандарте, как 24 кадра, в телевидении заметно мерцание изображений, неприятное для глаз и утомляющее их. Поэтому оказалось нужным увеличить число кадров до 50 в секунду. Такой стандарт обеспечивает отсутствие мерцания, осуществление же его не представляет трудностей, так как число кадров совпадает с частотой сети — 50 периодов в секунду.

Но передача 50 кадров в секунду связана с необходимостью применения чрезвычайно широкой полосы частот (при нашем стандарте — до 13 *Мгц*). Из этого положения был найден хороший выход: передавать вместо одного кадра два полукадра, а именно: в одном полукадре — все нечетные строки, а в другом — все четные. В результате мерцание устраняется, а полоса частот может быть уменьшена вдвое.

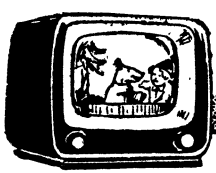
Следовательно, в телевидении в секунду передается 25 полных кадров, состоящих из 50 полукадров. Этот стандарт сильно отличается от первоначального киностандарта — 16 кадров в секунду. Поэтому при передаче по телевидению старых фильмов разница в скорости очень заметна. Персонажи на экране смешно бегают и прыгают.

Разница между современным киностандартом и телевизионным стандартом в один кадр (24 и 25 кадров) практически незаметна.

Но можно полагать, что когда-нибудь кино тоже перейдет на стандарт 25 кадров. Телевизионная техника более прогрессивна и гибка. Много выгод сулит, например, способ киносъемки телевизионной камерой с пересъемкой на киноленту с экрана монитора или с первоначальной записью съемки на магнитную ленту. Этот способ уже начинает практически применяться.

Тесная связь между телевидением и кино делает необходимым принятие ими единого стандарта.

---



## 1/4 КОПЕЙКИ В ГОД

В комнате полумрак. На диване удобно расположились зрители. Перед ними светлый экран телевизора, к которому приковано их внимание. Такая картина знакома всем. Число телевизоров у нас уже перевалило за 10 млн., а телезрителей — десятки миллионов. Телевизор становится одним из самых распространенных бытовых электроаппаратов, что заставляет с ним серьезно считаться. Это относится не только к самим телезрителям, планирующим свой досуг в соответствии с телевизионными программами, но и к администрации клубов, парков и даже... к энергетикам!

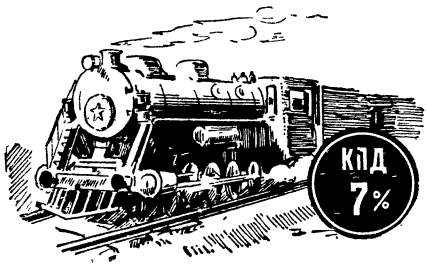
Если передача будет интересной, то миллионы людей будут сидеть дома перед своими телевизорами. Телевизор потребляет электроэнергию. Пусть потребление телевизором мощности невелико: всего 150—200 *вт*, но телевизоров много. Если включить сразу 5 млн. телевизоров, то на их питание потребуется около 800 000 *квт*. Чтобы снабдить электроэнергией все наши телевизоры, уже теперь должна работать электростанция мощностью более миллиона киловатт.

Но это только теперь. К концу семилетия число телевизоров увеличится почти в 4 раза. Для снабжения их энергией потребуется несколько крупнейших районных электростанций. Таким образом, энергетики не зря интересуются программами телевизионных передач. Питание телевизоров становится проблемой государственного значения.

Можно ли уменьшить количество электроэнергии, потребляемой телевизором? Хорошо ли телевизор использует ту энергию, которая расходуется на его питание?

Ознакомление с телевизорами показывает, что в этих отношениях работы для конструкторов еще непочатый край. Можно без преувеличения сказать, что масса энергии растрачивается в телевизоре попусту.

Всякое техническое устройство, на работу которого расходуется энергия, характеризуется к. п. д. Мощный электрический трансформатор имеет к. п. д., близкий к 99%. Только 1% подводимой к трансформатору энергии растрачивается в нем бесполезно, превращаясь в тепло. Это очень высокий к. п. д., который всегда ставится в пример. Коэффициент полезного действия автомобиля около 25%, паровоза — около 7%. У обычных осветительных ламп к.п.д. низкий — всего около 6%. Люминесцентные лампы расходуют электроэнергию значительно рациональнее, их к. п .д. доходит до 15%.




Каков к.п.д. телевизора?

Он исключительно мал.

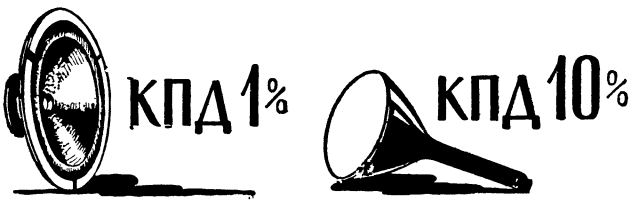
Предположим, что телевизор потребляет от осветительной сети 170 *вт*. Такую мощность потребляют очень многие распространенные телевизоры, например: «Рекорд», «Рубин» и др. «Полезной продукцией» телевизора являются изо-

бражение на экране и звук, порождаемый его громкоговорителем.

О звуковой части телевизора, являющейся радиоприемником, уже говорилось на стр. 105. Коэффициент полезного действия звукового канала телевизора равен примерно 0,006%. Он меньше, чем к.п.д. радиоприемника, потому что в телевизоре больше ламп.

Может быть, гораздо благополучнее положение с изображением?

Увы, здесь дело тоже обстоит очень плохо. Не так легко установить, какая мощность расходуется на получение изображения, так как она зависит от яркости изображения, от количества в нем светлых и темных мест и др. Но нас



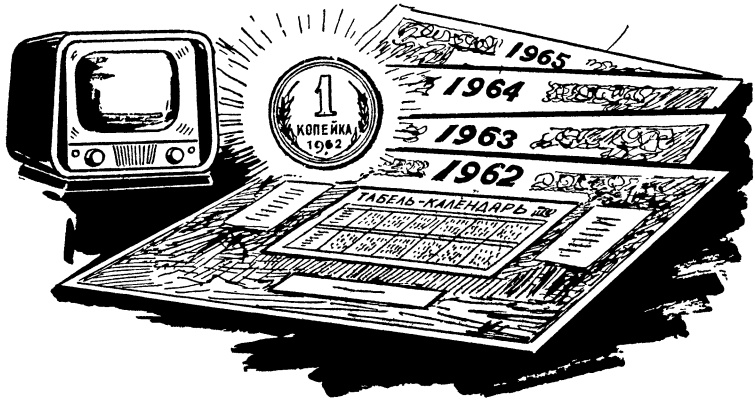

интересуют какие-то средние цифры, поэтому примем, что энергия свечения телевизионного экрана равна примерно 0,05 *вт*. Отсюда находим к. п. д. телевизора по изображению: около 0,03%, т. е. почти в 5 раз больше, чем к.п.д. по звуку. Такой сравнительно высокий к.п.д. объясняется тем, что электронно-лучевая трубка превращает в свет почти 10% энергии электронного луча.

Телевизор «Рекорд» потребляет 170 *вт*. Час его работы по тарифу 4 коп. за киловатт-час стоит 0,68 коп. Будем считать, что телевизор работает по 3 *ч* в день. Тогда суточный расход на его питание составит 2,04 коп., месячный — 61 коп., годовой — 7 р. 34 к.

Сколько же из этой суммы приходится за «полезную продукцию» телевизора при его крайне низком к.п.д.? Буквально гроши! Из 7 р. 34 к. оплата за изображение и звук составит примерно 0,25 коп. Это не ошибка — только двадцать пять сотых копейки. Целый год мы по 3 *ч* ежедневно смотрим телевизионные изображения, слушаем звуковое сопровождение, и стоит это всего-навсего четверть копейки!

А куда же идут остальные деньги, которые мы платим? Положите руку на работающий телевизор — он теплый.

Электроэнергия превращается им в тепло. Из общей суммы 7 р. 34 к. мы только 0,25 коп. платим за полезную продукцию, а остальное — за обогревание комнаты. Когда включаются миллионы телевизоров, несколько мощных электростанций работают на обогрев наших жилищ!




Эти цифры показывают, насколько важно повышение к.п.д. телевизоров. Есть ли пути к этому? Есть! Можно повысить к.п.д. и громкоговорителя, и электронно-лучевой трубки, можно совершенствовать электронные лампы и повышать их экономичность, но основное, что может дать действительно крупный эффект, это замена электронных ламп транзисторами, т. е. полупроводниковыми приборами. Такая замена даст возможность в несколько раз уменьшить энергию, потребляемую телевизорами.

## ПОКАЗАТЕЛИ совершенствования ТЕЛЕВИЗОРОВ

Наши телевизоры год от года становятся лучше. Растут их четкость, чувствительность, стабильность, улучшаются звучание, внешний вид, повышается экономичность... Но, несмотря на то, что все эти и другие подобные им показатели

(кроме, разве, внешнего вида) могут быть выражены в точных цифрах и сами по себе очень важны и ценны, по ним все же нельзя наглядно представить себе ход развития телевизоров. Картина получится очень пестрой и непоказательной. Чтобы общий ход развития был ясен, надо привязать его к какому-то одному, наиболее наглядному и понятному всем качеству телевизора.

Очень удобно взять для этого размеры экрана и применительно к ним рассматривать совершенствование телевизоров. Сопоставление такого рода обычно не приводится, а оно очень интересно.

В табл. 1, имеющей подсобный характер, показано увеличение площади экрана по мере выпуска новых электронно-лучевых трубок. Размеры экрана телевизора КВН-49 приняты за единицу.

Таблица 1

**Увеличение размеров экрана**
(площадь экрана телевизора КВН-49=1)

| Марка телевизора | Размеры электронно-лучевой трубки, *см* | Площадь экрана по сравнению с площадью экрана КВН-49 |
|---|---|---|
| КВН-49 . . . . . | Диаметр 18 | 1 |
| «Луч» . . . . . | » 31 | 3 |
| «Темп» . . . . . | » 40 | 5,5 |
| «Заря» . . . . . | Диагональ 35 | 4 |
| «Рубин» . . . . . | » 43 | 6,1 |
| «Янтарь» . . . . | » 53 | 11 |

Первые три трубки — круглые, следующие три — прямоугольные. У телевизоров разных марок, но с одинаковыми трубками есть некоторые колебания в размерах экрана, но они незначительны и не меняют общей картины. Как видно из таблицы, размеры экрана у телевизоров с такими трубками, как у «Зари» и «Рубина», а в эти группы входит подавляющее большинство современных телевизоров, увеличились по сравнению с размерами экрана телевизора КВН-49 в 4—6 раз. У телевизоров с 53-сантиметровой трубкой, таких, как «Янтарь», «Мир», «Алмаз» и др., площадь экрана увеличилась даже в 11 раз.

Это увеличение достаточно велико. Но здесь будет уместно вспомнить, что у самого телевизора КВН-49 площадь экрана увеличилась по сравнению с площадью экрана дискового телевизора 30-х годов в 23 раза (6 и 140 *см*$^2$

соответственно у дискового телевизора и КВН-49). У телевизора «Янтарь» экран больше, чем у дискового телевизора, в 250 раз.

Очень интересно отношение площади экрана к площади всей передней панели телевизора. Это отношение показывает, какую часть передней панели телевизора в процентах занимает экран. Должно быть, идеалом были бы 100%, т. е. тот случай, когда вся передняя панель представляет собой экран, но практически это вряд ли достижимо, потому что у экрана всегда будет какая-нибудь рамка, уменьшающая это отношение.

Вот соответствующая таблица.

Таблица 2

**Отношение площади экрана к площади всей передней панели телевизора (в процентах)**

| Телевизор | Отношение площади экрана к площади передней панели, % |
|---|---|
| «Москвич» | 6,5 |
| «Ленинград Т-2» | 7,5 |
| КВН-49 | 8 |
| «Луч» | 14 |
| «Темп-2» | 26 |
| «Старт» | 36 |
| «Рубин» | 40 |
| «Янтарь» | 50 |
| «Заря» | 55 |

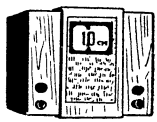
«Москвич» был нашим первым телевизором послевоенного выпуска; экран у него такой же, как у КВН-49, но футляр еще больше. В результате экран занимает у него только 6,5% передней панели — совсем небольшую часть ее.

У телевизора «Ленинград Т-2» экран больше, чем у «Москвича» (трубка диаметром 23 *см*), но ящик у него очень велик и вся конструкция недостаточно хорошо скомпонована. В итоге использование площади передней панели несколько больше, чем у «Москвича», но все же очень плохое.

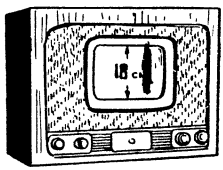
У КВН-49 процент использования передней панели чуть больше: 8. Еще больше он у таких телевизоров, как «Луч», «Экран», «Зенит» и др., у которых «коэффициент использования передней панели» доходит до 14. Но по су-

ществу он все-таки очень низок. Это в значительной степени объясняется тем, что в конструкции первых моделей телевизоров автоматически привносилось слишком многое из конструкций радиоприемников, между тем телевизоры нуждались в специфически телевизионном конструкторском подходе. В силу этой же распространенной в истории техники причины первые автомобили конструктивно напоминали конные экипажи, а первые железнодорожные вагоны копировали омнибусы. Каждая техническая новинка лишь в результате определенной постепенной эволюции приобретала свое собственное лицо, технически рациональное и по своему красивое.

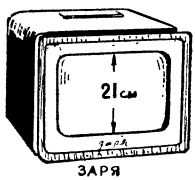
Переломным этапом в этом отношении были телевизоры «Авангард» и «Темп». Как видно из табл. 2, интересующее нас отношение у телевизора «Темп» сразу поднимается до 26. Такое повышение «коэффициента использования передней панели», конечно, произошло в результате выработки «те-



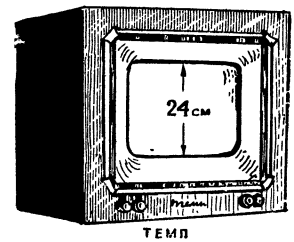
КВН-49



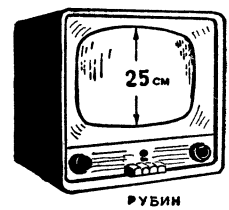
ЛУЧ



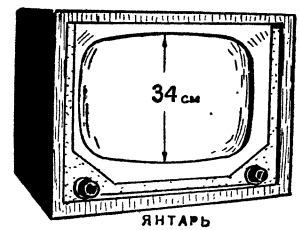
ЗАРЯ



ТЕМП



РУБИН



ЯНТАРЬ

левизионных» способов размещения деталей, их монтажа. У телевизора «Янтарь» и подобных ему экран занимает уже половину передней панели, а у «Зари» даже 55%. Чтобы добиться столь высокого «коэффициента», конструкторам пришлось убрать с передней панели все ручки управления и перенести их на боковую стенку. Существенную роль сыграл в этом отношении переход на применение электронно-лучевых трубок с прямоугольным экраном.

Цифры табл. 3 характеризуют успехи поисков рациональной конструкции телевизоров. Это очень трудная задача. Схемы телевизоров сложны, деталей в них много, а конструкция должна быть компактной и доступной во всех своих частях для осмотра и ремонта.

Но совершенствование телевизоров идет также по не менее важному пути уменьшения числа ламп. В этом отношении большое значение имеет улучшение самих ламп и трубок, широкое применение комбинированных ламп и замена, где это представляется возможным, вакуумных диодов полупроводниковыми (в дальнейшем, конечно, и другие лампы будут заменяться полупроводниковыми приборами). Сравнение качества телевизоров под этим углом зрения удобно производить, сопоставляя число квадратных сантиметров экрана, приходящееся на одну лампу телевизора. Чем это число больше, тем телевизор, естественно, лучше. Это сопоставление произведено в следующей таблице.

Таблица 3

**Число квадратных сантиметров площади экрана телевизора, приходящееся на одну лампу**

| Телевизор | Число $см^2$ экрана на 1 лампу |
|---|---|
| «Ленинград Т-1» . . . . . | 6 |
| КВН-49 . . . . . | 9 |
| «Луч» . . . . . | 25 |
| «Темп» . . . . . | 36 |
| «Рубин» . . . . . | 45 |
| «Заря» . . . . . | 48 |
| «Янтарь» . . . . . | 80 |

Как видно из таблицы, прогресс в этом отношении велик. Только 6 $см^2$ экрана приходилось на одну лампу в телеви-

зоре «Ленинград Т-1», этом первом ленинградском послевоенном телевизоре. При экране такой же величины, как у телевизора КВН-49, в нем было 22 лампы. У КВН-49 заметно меньше ламп — всего 16. Поэтому на одну лампу у него приходится 9 $см^2$ экрана — в 1,5 раза больше.

Читателям, должно быть, интересно, как обстоят дела в этом отношении у цветного телевизора. Ведь в нем больше ламп, чем в обычном, — у него есть лишний блок цветной информации. Действительно, у нашего цветного телевизора при экране, таком же, как у телевизора «Янтарь», на одну лампу приходится 60 $см^2$ экрана — на 20 $см^2$ меньше, чем у «Янтаря».

Увеличение экрана телевизора не сопровождается обязательным и во всяком случае сколько-нибудь пропорциональным увеличением числа ламп. Поэтому при введении электронно-лучевых трубок с большим экраном удельная площадь экрана, приходящаяся на одну лампу, возрастает. Это видно на примере телевизора «Луч». У него на одну лампу приходится уже 25 $см^2$ экрана против 9 $см^2$ у КВН-49. В дальнейшем наблюдается непрерывный рост этого показателя. Он поднимается до 45 $см^2$ у «Рубина» и до 48 $см^2$ у «Зари». В последнем телевизоре всего 10 ламп против 16 у КВН-49. А площадь экрана «Зари» ровно в 4 раза больше, чем у КВН-49. Ламп в 1,5 раза меньше, а экран вчетверо больше! Прогресс очень большой.

Особенно велик этот показатель у телевизоров типа «Янтарь»: он доходит до 80 $см^2$. Это объясняется не какой-нибудь сверхзамечательной схемой или особыми лампами, а просто применением трубки с большим экраном. Работающая в «Янтаре» трубка по площади экрана почти вдвое больше трубки телевизора «Рубин», а число ламп у них одинаково. Вообще же если применение большей трубки сопровождается увеличением числа ламп, то это происходит не потому, что для большей трубки нужно больше ламп, а потому что телевизор с большим экраном снабжается какими-нибудь дополнительными удобствами, осуществление которых требует лишних ламп.

К важнейшим показателям телевизоров относится экономичность. Этот показатель имеет не только чисто техническое, но и важное народнохозяйственное значение. Когда количество телевизоров исчисляется миллионами, на их питание затрачиваются сотни тысяч киловатт. Даже небольшое уменьшение энергии питания телевизора при умно-

жении на миллионы превращается в очень весомую величину и реально облегчает работу энергетических баз страны.

Очень показателен не общий расход электроэнергии на телевизор, а, например, расход энергии на квадратный сантиметр площади экрана. Данные об изменении этой величины с развитием телевизоров приведены в следующей таблице.

Таблица 4

**Мощность питания телевизоров**
(ватты на 1 $см^2$ экрана)

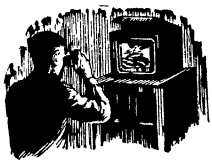
| Телевизор | Энергия питания |
|---|---|
| КВН-49 | 1,6 |
| «Луч» | 0,5 |
| «Рубин» | 0,2 |
| «Заря» | 0,17 |
| «Янтарь» | 0,12 |

Энергия питания «Зари» в 10 раз меньше, чем у телевизора КВН-49. И это несмотря на то, что экран «Зари» ровным счетом в 4 раза больше экрана КВН-49. Телевизор КВН-49 потребляет около 220 *вт*. Если бы потребление энергии телевизором «Заря» было пропорционально размерам экрана, то он потреблял бы около 800—900 *вт* — без малого киловатт. Между тем он в действительности потребляет примерно 100 *вт*; энергия питания уменьшилась более чем вдвое, а экран увеличился вчетверо. Соответственно телевизор «Янтарь» потреблял бы около 1 700 *вт*, т. е. около 2 *квт*. Миллионы телевизоров с таким огромным потреблением энергии были бы настоящим бедствием для электростанций.

Мы видим, что фактически экономичность телевизоров все возрастает. И надо сказать, что достигнутое снижение потребляемой энергии совсем не является пределом. Оно даже не приближается к пределу. Впереди работа по замене электронных ламп транзисторами, работа, сулящая огромную экономию электроэнергии. Например, у экспериментальных полупроводниковых телевизоров, несмотря на применение в них обычной электронно-лучевой трубки с малым экраном, т. е. детали заведомо неэкономичной, была затрата мощности на 1 $см^2$ экрана порядка 0,02 *вт*, т. е. в 80 раз

меньше, чем у КВН-49. Можно предположить, что полупроводниковые телевизоры с обычными для современных моделей экранами смогут потреблять на 1 $см^2$ экрана около 0,01 *вт*. Нет сомнения, что такая величина будет достигнута.

---



## Фотоснимок с экрана телевизора

Сегодня по телевидению передают кинофильм, в котором участвуют ваши любимые актеры. Вы решили запечатлеть их образ на фотопленке. Это дело, как будто, нетрудное: фотоаппарат у вас хороший, вы располагаете пленкой весьма высокой чувствительности, а ваш телевизор дает очень яркое и четкое изображение. В таких условиях и при такой технике можно производить съемку с большой скоростью, не опасаясь недодержки. Прикинув, вы остановили выбор на экспозиции $^1/_{1000}$. При такой малой выдержке снимок наверняка не будет «смазан».

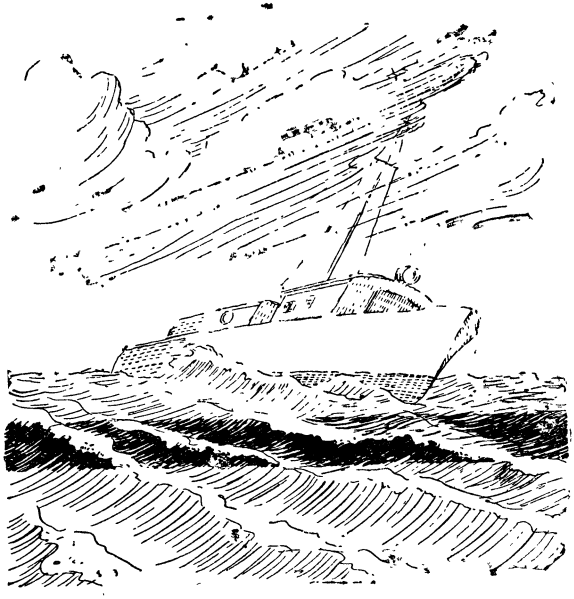
Вот снимки сделаны и проявлены. С нетерпением вы вынимаете пленку из проявочного бачка... Но что это? Ни на одном снимке не получилось изображения, вернее на каждом из них имеются лишь слабые следы изображения и какая-то узкая полоска, расположенная на некоторых кадрах вверху, на других — внизу или около середины. Есть даже один кадр, на котором совсем нет полоски.

Вас прежде всего заинтересовали эти странные узкие полоски. Вы достаете лупу и разглядываете их. При увеличении в них можно кое-как разобраться. Вот глаз и часть носа, вот какая-то ветка.

Чем же объясняется такой странный результат съемки?

Объясняется он очень просто. Фотоаппарат с присущей ему беспристрастностью добросовестно показал то, на что был направлен его объектив. А в действительности на экране телевизора никакого изображения нет, нам только кажется, что оно имеется. Изображения на экране телевизора — обман зрения. Если бы мы могли открыть глаза

только на десятую или сотую долю микросекунды, то увидели бы темный экран и на нем одну-единственную маленькую светлую точку.



В каждый данный момент на экране телевизора светится лишь одна крохотная точка. Точка бежит по экрану, прочерчивая строку за строкой и постоянно изменяя яркость. Она то вспыхнет очень ярко, то почти погаснет, а иногда и действительно совсем гаснет. За одну двадцать пятую долю секунды точка успевает дважды прочертить весь экран сверху донизу, уложив на нем 625 строк (четных и нечетных), и вернуться к началу. Но наш глаз обладает способностью удерживать полученное изображение в течение примерно $^1/_{15}$ *сек.* Поэтому мы не различаем быстрого движения точки. След ее движения сливается для нас в одно связное изображение, подобно тому как ракета представляется нам не в виде движущейся точки, а в виде яркой полосы на темном фоне ночного неба.

Но фотоаппарат обмануть нельзя. Он запечатлевает только то, что «видит» на самом деле. В нашем примере объектив фотоаппарата был открыт 0,001 *сек.* За такой

промежуток времени точка успевает прочертить на экране всего $15^1/_2$ строки — узкую полосу, охватывающую $^1/_{20}$-ю часть кадра. Поэтому на каждом фотоснимке и оказалось лишь по такой узкой полоске, находившейся в той части кадра, где захватил ее открывшийся объектив аппарата.

Почему же все-таки на наших фотоснимках виден слабый намек на изображения? Это объясняется тем, что экран телевизионной трубки обладает некоторым послесвечением. Те точки экрана, которые только что облучил электронный луч, продолжают слабо светиться, постепенно затухая в течение нескольких сотых или даже тысячных долей секунды. Это послесвечение в виде слабого следа изображения и запечатлел фотоснимок.

Чем же объяснить то, что на одном из снимков вообще ничего не получилось? Объяснение очень простое — снимок был сделан в промежутке между двумя кадрами, т. е. во время обратного хода луча от последней строки к первой. Продолжительность обратного хода как раз 0,001 *сек*, т. е. равна времени нашей экспозиции. Если бы электронный луч во время обратного хода не гасился, то мы обнаружили бы на снимке косую линию, прочерчивающую экран снизу доверху. Но луч, совершающий обратный ход, гасится, поэтому он и не виден на фотопленке. На ней можно разглядеть лишь слабые контуры последних строк изображения — результат послесвечения экрана.

Отсюда вывод: фотографировать изображения на экране телевизора надо с выдержкой не менее $^1/_{25}$ *сек*, иначе полного кадра не получится.

Описанные выше результаты получаются при съемке аппаратами с центральным затвором, например ирисовым. Но не все фотоаппараты имеют такие затворы, поэтому результаты фотосъемки с экрана телевизора могут быть и другими.

Снимок сделан и проявлен. К удивлению фотографа весь снимок не получился. Его общее поле черное, и на нем видна лишь косая наклонная полоса с соответствующими частями изображения.

Виновников такого «косого» фотоснимка два — большая скорость съемки и шторная конструкция затвора. Шторные затворы имеет большинство так называемых малоформатных фотоаппаратов, снимающих на кинопленку. В аппаратах этого типа перед фотопленкой движется черная светонепроницаемая шторка с вертикальной щелью. Ширина

щели и скорость движения ее зависят от установленной выдержки. Щель движется справа налево, если смотреть со стороны объектива. Изображение на фотопленке получается перевернутым, поэтому щель фактически перемещается по снимку слева направо, т. е. так же, как прочерчиваются на экране строки.

За $^1/_{50}$ *сек* луч прочертит на экране весь кадр, уложив на нем одно поле в 312,5 строки (фактически несколько меньше, но это для наших рассуждений значения не имеет) четных или нечетных, так как у нас принята чересстрочная развертка. Если щель будет проходить кадр за $^1/_{50}$ *сек*, то на снимке окажется экспонированной косая полоса, так как строка движется по изображению сверху вниз, а щель движется слева направо.

Фактическая ширина полосы зависит от ширины щели, а наклон ее — от продолжительности выдержки. Чем меньше выдержка, тем меньше будет наклон полосы. При выдержке, равной $^1/_{50}$ *сек*, и совпадении начала движения шторки затвора с началом движения луча по верхней строке полоса пройдет как раз от левого верхнего угла снимка к его правому нижнему углу.

Отсюда вывод: для того чтобы получить полноценный снимок с экрана телевизора аппаратом со шторным затвором, надо сделать продолжительность выдержки больше продолжительности передачи обоих полей кадра, т. е.

больше $^1/_{25}$ *сек*, например $^1/_{10}$ *сек*. Если выдержка будет очень длительной, то движущиеся изображения могут «смазаться».

---

С давних пор радиолюбители знакомы с замираниями приема. В те времена, когда короткие волны не вошли еще в обиход, замирания удаленных средневолновых станций доставляли любителям дальнего приема много неприятностей.

Когда диапазон приемников расширился в сторону коротких волн, радиолюбители убедились, что замирания в новом диапазоне чувствуются еще резче.

Что за причина порождает замирания?

Изучение характера распространения радиоволн разъяснило происхождение замираний. Они происходят у станций, работающих на волнах, способных в данных конкретных условиях отражаться от ионосферы, т. е. когда радиоволны доходят до радиоприемника несколькими путями. Путь, проделанный лучом, отраженным от ионосферы, длиннее, чем прямой путь, поэтому дошедшая до приемной антенны отраженная волна может оказаться как в фазе с «прямой» волной, так и в противофазе. В первом случае прием будет усилен, во втором — ослаблен. То же самое может произойти и тогда, когда мы прямого луча вовсе не принимаем, а до приемной антенны доходят только отраженные лучи, прошедшие разные пути.

Если бы отражающий радиоволны объект был неподвижным, то мы не замечали бы замираний. Прием одних станций оказался бы усиленным, других — ослабленным. Эти усиления и ослабления были бы постоянными, и мы просто считали бы, что первые станции слышны лучше вторых.

Но в действительности радиоволны отражаются ионосферой, претерпевающей постоянные колебания.

Меры борьбы с замираниями удалось найти. Хорошим способом устранения их является прием на разнесенные антенны. В этом случае используется то, что замирания не бывают одновременно в двух точках, удаленных одна от другой на некоторое расстояние. Отражающая радиоволны ионосфера колеблется; пути, проходимые отраженными волнами, от этого изменяются; в результате волны то складываются, то вычитаются.

Действенным способом является устройство в приемниках автоматической регулировки усиления. У приемника делается запас усиления, который при громком приеме не используется. Но если прием становится слабее, то усиление автоматически увеличивается и громкость приема поддерживается на прежнем уровне.

Но при чем же тут самолеты?

А вот при чем. В «эпоху» средних и коротких волн радиолюбители и радиослушатели знали о причинах замираний только теоретически. Эти причины были где-то в заоблачных сферах, вне пределов досягаемости. Но вот наступила эра телевидения, и замирания стали не только слышны, но и «видны».

Телезрители, живущие вблизи аэродромов и авиатрасс, знают, какие сильные и неприятные помехи приему телевидения создают самолеты. При пролете самолета прием сигналов телевидения начинает то усиливаться, то ослабевать. Экран телевизора «дышит», смотреть на изображение неприятно.

Ультракороткие волны, которые используются для передачи телевидения, малы, и такие сравнительно большие объекты, как самолеты, хорошо отражают их. В результате приемной антенны достигают два луча: один — обычный, прямой и второй — отраженный самолетом. В зависимости от соотношений путей, пройденных обоими лучами, они могут быть в фазе и противофазе; значит, сигнал в антенне может быть и усилен, и ослаблен. Самолет летит, соотношение путей радиоволн все время изменяется, и это приводит к тому, что прием то усиливается, то ослабляется. Самолет создает самые настоящие замирания. Их мы и называем самолетными помехами.

В течение многих лет существовал такой хороший и обжитой термин — магнитная звукозапись. Всем он был понятен, все к нему привыкли. И вдруг, как-то сразу, неожиданно выяснилось, что он стал негоден, что пользоваться им по существу нельзя, что данная область техники уже переросла свое название.

Первый удар по магнитной звукозаписи нанесли электронные счетно-решающие устройства. В этих устройствах есть элементы памяти, в которых на длительное или короткое время запечатлеваются нужные сведения, задания, результаты промежуточных вычислений и пр. Для этой цели часто пользуются магнитной записью. Запись производится в кодированном виде, чаще всего цифрами по двоичной системе. Это магнитная запись, но не звукозапись. Звук из названия исчез.

Далее на сцену выступило телевидение. Было коренным образом усовершенствовано хранение телевизионных передач. До этого сохранить телевизионные передачи можно было только одним способом — заснять их на киноленту непосредственно в студии или с экрана монитора. Способ очень хлопотливый. Воспроизведение заснятой киноспособом телевизионной передачи возможно в лучшем случае лишь через несколько часов, а сама технология производства кинофильмов связана с применением сложного оборудования.

Нельзя ли найти более простой способ сохранения телевизионных передач?

Это оказалось возможным. Неожиданную помощь в этом трудном деле оказал магнитофон.

Телевизионный сигнал представляет собой сигнал электрический. Магнитным способом можно записать любой электрический сигнал. Известные пределы здесь кладет лишь частота. Чем выше частота, тем быстрее должна двигаться магнитофонная лента. Это легко понять путем таких рассуждений. Нет сомнения в том, что сигнал может быть записан и воспроизведен лишь в том случае, если за время одного периода частоты сигнала лента сместится на расстояние, значительно превышающее ширину щели магнитофонной головки. А как обстоит дело в этом отношении у современных магнитофонов?

Наибольшей скоростью движения ленты в магнитофонах до недавнего времени была скорость 770 *мм/сек*. Если частота записываемых сигналов будет только 1 *Мгц*, то полное изменение тока за один период будет происходить в течение 1 *мксек*. За это время лента успеет сместиться лишь на 0,7 *мк*, тогда как ширина щели бывает порядка 20 *мк*. Таким образом, пока участок ленты, равный по длине ширине щели, пройдет перед щелью, произойдут изменения тока, равные примерно 30 периодам. Записаны они не будут, так как они наложатся друг на друга. А для телевидения применяется гораздо более широкая полоса частот — до 6 *Мгц*.

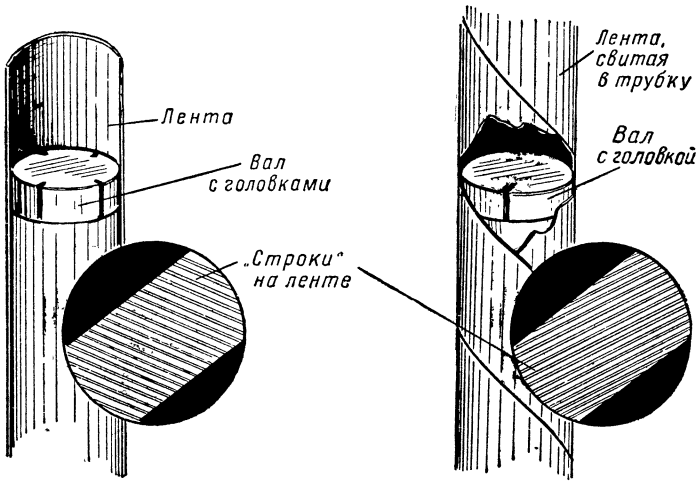
Поэтому для магнитной записи телевизионных сигналов есть только один способ — резко увеличить скорость движения магнитной ленты. Если даже допустить, что ширина щели в магнитной головке может быть значительно уменьшена, то все равно скорость движения ленты надо увеличивать в десятки и сотни раз.

Это оказалось возможным сделать, хотя, правда, несколько обходным путем, применив так называемую строчную запись.

Представим себе вал, по окружности которого расположены четыре магнитофонные головки, каждая из которых смещена вниз относительно предыдущей на ширину строки — несколько больше, чем на длину своей щели. Вал вращается, а параллельно его оси, прилегая к валу и образуя своего рода «желобок», движется лента. Этот желобок из ленты охватывает вал с головками не более чем на четверть его окружности.

Головки будут как бы прочерчивать на ленте строки. Первую наклонную строку прочертит первая головка. Едва она сойдет с ленты, как на нее с другого края набежит

вторая головка и начнет прочерчивать вторую строку. Так как лента движется относительно оси вала, к моменту подхода второй головки первая строка сместится и вторая строка будет располагаться под нею, считая по движению ленты. Далее будут прочерчены третья и четвертая строки, после чего все начнется сначала, т. е. снова на ленту набежит первая головка и т. д.




Нужны ли для такой записи четыре головки? Конструкторы утверждают, что нужны. Четыре головки обеспечивают непрерывность записи. В тот момент, когда с ленты сходит одна головка, на ленту вступает очередная головка. Придав валу с головками большое число оборотов, можно обеспечить быстрое движение ленты относительно магнитной щели головки (или этой щели относительно ленты, что одно и то же).

Допустим, что вал делает, например, 15 000 *об/мин*. Следовательно, четверть оборота (сфера действия одной головки) длится 0,001 *сек*. Ширина ленты бывает порядка 50 *мм*. Отсюда нетрудно подсчитать, что скорость движения магнитной щели относительно ленты составляет примерно 50 000 *мм/сек*, тогда как в лучших магнитофонах она доходила лишь до 770 *мм/сек*.

Приведенные цифры вполне реальны. В Москве Институтом звукозаписи сконструирован магнитофон для записи

телевизионных изображений, данные которого: четыре головки, ширина ленты 50 *мм*, число оборотов вала с головками 15 000 в минуту, скорость движения ленты вдоль вала 385 *мм/сек*. В Ленинграде на заводе «Ленкинап» сконструирован магнитофон с несколько другими данными: ширина ленты 70 *мм*, четыре головки, число оборотов вала с головками 12 000 в минуту, скорость движения ленты 385 *мм/сек*. Примерно такие же данные имеют и иностранные магнитофоны для записи телевизионных изображений, в том числе и цветных.

Но не все конструкторы использовали четыре головки. Японские конструкторы пошли по другому пути. В сконструированном ими магнитофоне на валу всего одна головка, зато лента охватывает весь вал. Для этого она свита в трубку. Попробуйте свить трубку из бумажной ленты и прочертите внутри получившейся трубки карандашом кольцо. Теперь разверните ленту и посмотрите, что у Вас получилось. А получилось вот что: вместо круглого кольца на ленте прочертилась очень длинная наклонная строка. Если начертить два кольца, чуть смещенные друг относительно друга, то можно убедиться в том, что вторая строка будет без перерыва служить продолжением первой, т. е. будет обеспечена непрерывность записи одной головкой. Вал с головкой в японских магнитофонах для записи изображений делает всего 3 600 *об/мин*, т. е. в 3—4 раза меньше, чем в магнитофонах с четырьмя головками. Этот способ напоминает один из видов рапид-съемки в кино.

Значение записи телевизионных изображений на магнитную ленту гораздо шире, чем это может показаться сначала. Оказывается, например, что производить киносъемку выгоднее не кинокамерой, а телевизионной камерой на магнитную ленту. Такая лента гораздо дешевле; она немедленно без обработки готова к воспроизведению; в случае нужды ленту можно использовать повторно, стерев с нее старую запись; съемку можно вести при гораздо меньшей освещенности, так как чувствительность телевизионных передающих трубок гораздо выше чувствительности кинопленки. Словом, преимуществ очень много — вплоть до того, что и черно-белое, и цветное изображения записываются на одну и ту же ленту. Похоже на то, что в будущем кинолента начнет отмирать и будет заменяться магнитной лентой. Эту возможность надо учитывать как одну из вероятных перспектив развития техники магнитной записи сигналов.

Это обстоятельство, как уже, вероятно, заметил наблюдательный читатель, заставило отказаться от названия «магнитная звукозапись» и использовать более общее название «магнитная запись сигналов», ведь запись изображений уже не является звукозаписью! Не являются звукозаписью и некоторые другие виды использования магнитной записи, как, например, запись сигналов в устройствах магнитной памяти счетно-решающих и программных установок.

Так мы являемся свидетелями рождения по существу новой области техники.

---

Многие помнят, какое сильное впечатление производили первые демонстрации широкоэкранного кино. Вот как это было описано в свое время:

«В зале раздвигался занавес, за которым к недоумению зрителей был обычный экран, гас свет и начиналась демонстрация видовых кадров.

— Таким вы видели кино до сих пор! — слышался голос диктора.

И вдруг занавес раздвигался далеко в стороны. Перед зрителями развертывался огромный — почти от стены до стены — экран и на этом необычном экране была видна широченная городская площадь — яркая, красочная, залитая солнечным светом и полная веселого шума. Впечатление было так сильно, что, казалось, будто задняя стена зала просто исчезла и стало видно то, что находилось по ту ее сторону.

Преимущества широкого экрана сразу становились очевидными».

С тех пор прошло уже около десятка лет, число широкоэкранных кинотеатров и кинофильмов быстро растет. Строящиеся новые кинотеатры имеют, как правило, широкий экран. Появились уже панорамное кино и круговая панорама или циркорама.

А в телевидении?

В телевидении по-прежнему применяется только старый «узкий» экран с отношением сторон 3 : 4 (высота 3 единицы, ширина 4 такие же единицы).

Этот формат неудобен. В свое время выбор его был вполне обоснован, потому что он соответствовал формату кинокадров, а передача кинолент составляет едва ли не половину всех телевизионных передач. Этот формат был удовлетворительным и для студийных передач. В студии все в руках режиссера, который всегда сумеет организовать материал так, чтобы он уложился в узкий формат. Да и трудности это большой не представляло, потому что первоначально четкость телевидения была невысока, хорошо получались только крупные планы, а в узкоформатный кадр как раз хорошо вмещались несколько исполнителей крупным планом.

Но по мере совершенствования телевидения становятся все более заметными неудобства узкого формата кадров. Четкость телевидения возросла, в программах все большее место занимают внестудийные передачи — со стадионов, из театров, с аэродромов, с улиц и площадей и т. п. Здесь телевизионный режиссер бессилен что-либо «организовать», а здесь как раз ширина имеет гораздо большее значение, чем высота. Поле нашего зрения по горизонтали заметно больше, чем по вертикали. Вся наша жизнедеятельность происходит, так сказать, в горизонтальной плоскости и весь наш обжитой мир горизонтален. Наши улицы, города, квартиры, поля и леса, реки, озера и моря — все это горизонтально. Поэтому при нестудийных передачах режиссеры бывают вынуждены выхватывать отдельные куски той площади, на которой происходят передаваемые события. Куски такой величины, какие укладываются в телевизионный кадр. А от показа всей территории им приходится отказываться — получается слишком мелко. Но отдельные «куски» и даже последовательная передача различных кусков далеко не всегда дают достаточное представление о происходящем. Наши спортивные «болельщики» знают, как много теряют спортивные передачи из-за невозможности широкого охвата. Даже небольшую волейбольную площадку приходится передавать по частям, и это в большинстве случаев не дает возможности следить за игрой, а уж о футболе и говорить не приходится. Это же мы, к сожалению, видим и при передачах из театров: в телевизионный кадр с достаточной четкостью укладывается только

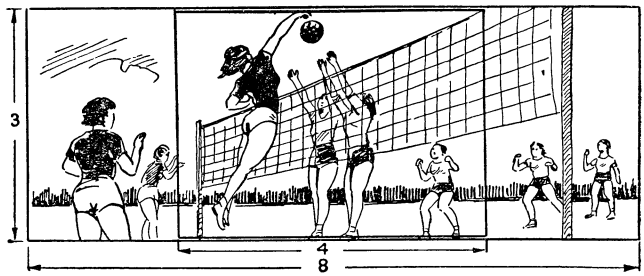
часть сцены. Из-за этого телезрителям приходится много терять.

Поэтому рано или поздно телевидению придется тоже перейти на широкий экран. Этот вопрос уже рассматривается в технической литературе, и даже производятся кое-какие опыты. Пока трудно сказать, какой размер экрана будет признан наилучшим. В кино тоже идут искания: после широкоэкранного появился, например, широкоформатный. Ориентировочно можно предположить, что в телевидении остановятся на формате с отношением сторон примерно 3 : 8, который равен двум сложенным по горизонтали современным экранам. У телевизора «Заря», например, при таком формате изображение имело бы в высоту около 21 *см* (как и сейчас), а в ширину около 56 *см*. При таком широком экране можно будет применить и стереофоническое звуковое сопровождение, которое при теперешнем экране не может дать эффекта, так как звук «оторвется» от экрана: зритель будет видеть говорящего перед собой, а звуки его голоса донесутся откуда-то сбоку.

Способов осуществления широкоэкранного телевидения можно придумать несколько. У передающей камеры, вероятно, можно будет ограничиться применением анаморфотной оптической приставки на обычный объектив. Эта насадка сжимает широкое изображение до размеров обыкновенного узкого кадра. Так делается в кино. У приемного телевизора соответствующее растягивание изображения легко осуществить электрическими способами (в кино растягивание производится опять-таки оптическими насадками на объектив демонстрационного аппарата). Электронно-лучевые трубки могут быть созданы специальные, нужной формы и размеров. В проекционных телевизорах широкоэкранное изображение можно получить таким же способом, как и в кино, т. е. растягивать изображение оптическим путем.

Немаловажной проблемой является передача широкоэкранных изображений. Полоса частот, используемая теперь нашим телевизионным вещанием, будет недостаточной. Ее придется расширить. По прикидкам специалистов можно будет ограничиться полосой 10 *Мгц* (вместо теперешних 6—6,5 *Мгц*). Это обстоятельство, по всей вероятности, не послужит препятствием к переходу на широкий экран, в особенности учитывая возможный в будущем переход на использование для телевизионных передач более коротких волн.

Каждое изменение телевизионного стандарта всегда упирается в проблему другого рода — что делать со старыми телевизорами, имеющимися на руках у населения в миллионных количествах? Этот вопрос встает при обсуждении проектов увеличения числа строк в телевизионном стандарте, при разработке систем цветного телевидения и пр. Обычно в таких случаях стремятся найти совместимую систему передачи. Это значит, что новые передачи могут быть приняты на старых телевизорах так, как они принимались раньше, без каких-либо изменений, а новые телевизоры будут принимать их с реализацией тех усовершенствований, которые введены в передачу. Так, например, старые телевизоры могут принимать цветные передачи, но без цвета, как обычные черно-белые, а у новых телевизоров будет цветное изображение. Они смогут принять и черно-белые передачи, но изображение в этом случае будет не цветным, а черно-белым. Такое положение существует у нас в настоящее время. Москвичи на своих старых телевизорах могут принимать экспериментальные передачи московского цветного передатчика (на 8-м и 3-м каналах), но без цвета.




Широкоэкранное телевидение можно совместить с обычным, например, так: старые телевизоры будут принимать только центральную часть изображения, по площади равную прежнему формату 3 : 4, а специальные широкоэкранные телевизоры смогут принимать и дополнительные левую и правую части полного широкоэкранного изображения. Разумеется, режиссеры в течение какого-то времени, пока на руках у населения будет много старых телевизоров, должны будут строить передачи так, чтобы основная часть действия, необходимая для понимания происходящего на

экране, укладывалась в пределы центральной части кадра, соответствующей узкоэкранному кадру.

Широкоэкранные телевизоры при введении подобной совместимой системы смогут принимать и обычные узкоэкранные передачи, причем изображение получится лишь в центральной части экрана — в пределах кадра 3 : 4, т. е. так, как теперь в широкоэкранных кинотеатрах демонстрируют узкоэкранные кинофильмы.

Очень существенное преимущество широкоэкранное телевидение будет иметь при использовании его в народном хозяйстве. Выгоды, которые дает теперь применение телевизионной аппаратуры на железных дорогах, заводах и пр., часто ограничиваются слишком малым углом охвата по горизонтали при наличии больших неиспользуемых пространств по вертикали. Установлена ли телевизионная аппаратура для наблюдения за конвейером на заводе, за путями на железнодорожной станции или за прохождением судов через шлюз — во всех этих и в большинстве других случаев требуется большой охват по ширине, что и дает широкий экран.

В заключение надо отметить, что введение «безвакуумных» люминесцентных экранов вместо электронно-лучевых трубок значительно облегчит задачу осуществления широкоэкранного телевидения.

---

В сущности говоря, на протяжении очень долгого времени в отношении цвета все представлялось совершенно ясным. С тех пор как Ньютон 300 лет назад пропустил свет через трехгранную призму и получил спектр, физики считали, что белый цвет представляет собой смешение семи основных цветов: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового.

Потом убедились в том, что деление спектра на семь частей условно. Возможно, что здесь сказалось то особое

отношение к цифре 7, которое наблюдалось в прошлом, благодаря которому неделю разделили на 7 дней, сажень разделили на 7 футов и пр., во множество пословиц и поговорок вставляли семерку: «Семь пятниц на неделе», «Семь верст и все лесом», «У семи нянек...», «Семь раз отмерь...», «Один с сошкой, а семеро с ложкой» и др. В спектре при желании можно различить много цветов и оттенков их. Но опыты показали, что основными цветами надо считать три: красный, зеленый и синий. В сумме они дают белый цвет, а смешиванием их в разных пропорциях можно образовать любой другой цвет.

Соответственно в наших органах зрения были обнаружены три вида рецепторов, реагирующих на красный, зеленый и синий цвета (см. стр. 278).Все это было объединено в так называемой трехкомпонентной теории цветного зрения.

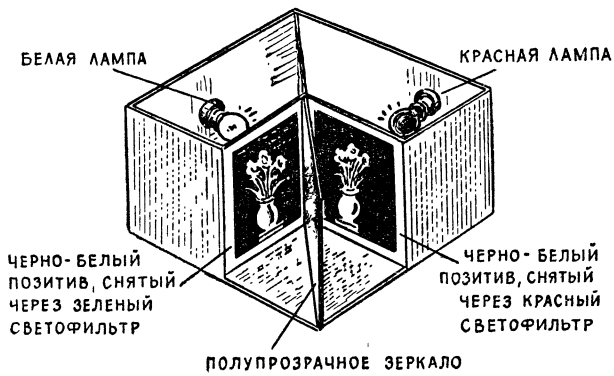
Именно она была положена в основу при разработках в тех областях техники, где оказалось нужным воспроизводить цвета. Для осуществления цветной фотографии были созданы трехслойные пленки, пластинки и бумага. Каждый из этих слоев реагировал соответственно на один из указанных трех основных цветов. Так же было создано и цветное кино. По этому же пути пошли и тогда, когда дошла очередь до «оцвечивания» телевидения. В передающей камере установили три кинескопа: один с красным фильтром, другой — с зеленым, третий — с синим. В телевизорах применили сложные трехлучевые трубки с трехцветным люминофором. Система работает, но очень сложна и дорога, что препятствует широкому внедрению ее в жизнь.

Нужны ли обязательно три цвета?

Уже довольно давно наблюдения показали, что наши зрительные восприятия не всегда соответствуют объективным фактам. Поясним это сразу примером. Всем известный опыт: посмотрите в течение некоторого времени на хорошо освещенный красный предмет и потом быстро переведите глаза на белую бумагу или белую стену. Вы увидите этот самый предмет, но зеленого цвета. Попробуйте проверить себя при помощи прибора, определяющего цвета. Направленный на красный предмет он зарегистрирует красный цвет, переведенный на белую бумагу он покажет белый цвет. Никакого зеленого цвета он не «увидит». Зеленого цвета там просто нет. Но мы вследствие особенностей нашего зрения увидим зеленый цвет.

Так вот, опыт уже давно показал, что в соответствии с особенностями нашего зрения достаточно двух цветов, чтобы создать иллюзию всех цветов. К этому вопросу вновь привлек всеобщее внимание в 1959 г. американец Лэнд, которого неправильно считают «первооткрывателем» этого явления, но которому нельзя отказать в признании проявленной им большой энергии для популяризации его. Лэнд фотографировал цветной объект 2 раза на обычные черно-белые пластинки. Первый раз фотографирование производилось через красный светофильтр, второй раз — через зеленый светофильтр. С полученных негативов делались черно-белые диапозитивы, которые устанавливались в два проектора. В одном из них с диапозитивом, снятым через красный светофильтр, была красная лампа, в другом — обычная белая лампа. Изображения, даваемые обоими проекторами, совмещались на экране.

Можно было ожидать, что изображение на экране будет красно-черным — совмещение красного и черно-белого изображений. На самом же деле на экране в этом случае возникает многоцветное изображение, в какой-то степени повторяющее цвета объекта. (В таких случаях очень не хочется говорить «в естественных цветах», потому что и в фото, и в кино, и в телевидении цвета пока не получаются действительно естественными).




Опыт этого рода москвичи и гости Москвы видели на американской выставке в Москве. Демонстрационная установка была выполнена так. Два больших черно-белых диапозитива смонтированы под прямым углом друг к другу. Сзади один

из них освещается красной лампой, другой — белой или желтой — натриевой. Оба могут также подсвечиваться белыми лампами. По линии раздела угла под углом 45° к каждому из диапозитивов помещено полупрозрачное зеркало. В этом зеркале оба диапозитива совмещаются, т. е. отражение в зеркале одного из диапозитивов совпадает с видимым на просвет вторым диапозитивом. Смотреть на полупрозрачное зеркало можно было как со стороны одного диапозитива, так и со стороны другого, эффект от этого не менялся.

Если диапозитивы освещены белыми лампами, то совмещенное в зеркале изображение получается черно-белым. Но лишь только диапозитив, который мы условно назовем красным, осветится красным светом, как совмещенное изображение становится цветным, в котором есть вся гамма цветов: красный, синий, зеленый, желтый и т. д. со всевозможными оттенками, например: светло-зеленый, темно-зеленый, оливковый и др. Так как установка доступна со всех сторон, можно встать так, что одна часть какого-нибудь диапозитива видна сквозь зеркало, а другая часть — непосредственно, мимо зеркала. Тогда первая часть получается цветной, а вторая — или красной, или черно-белой в зависимости от того, со стороны какого диапозитива смотрит наблюдатель.

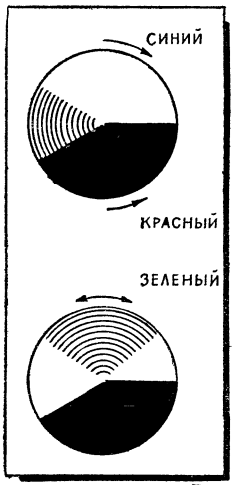
Надо еще раз подчеркнуть, что многоцветность порождается в данном случае лишь нашим воображением. Если исследовать получающееся многоцветное изображение каким-либо объективным анализатором, например спектроскопом, то он обнаружит в изображении только красный и белый цвета. Но наш глаз, несмотря на это, упрямо продолжает видеть в изображении все цвета. Как мы уже сказали, это происходит из-за каких-то еще невыясненных до конца особенностей механизма нашего зрения. Но это обстоятельство не может помешать нам использовать их. Ведь все телевидение построено на подобных иллюзиях или «обманах». На экране нет движения, есть только чередование отдельных статических снимков, но мы видим движение. На экране нет изображения, есть только бегающая световая точка, но мы видим изображение. Так почему же нам не удовлетвориться цветным изображением, хотя бы его на самом деле и не было.

Конечно, от опытов с диапозитивами до цветного телевидения дистанция еще далекая, но во всяком случае надо

иметь в виду, что три цвета необязательны, можно обойтись меньшим числом цветов, например двумя.

К этой фразе можно придраться. Причем тут «например»? Нельзя же получить многоцветное изображение, передавая только один цвет — белый!

Оказывается, можно и это. Доказано опытами, что у наших органов зрения можно создать впечатление цвета, воздействуя на них только чередованием черного и белого. Если изготовить изображенные на рисунке диски, окрашенные в белый и черный цвета, то при вращении их со скоростью около 7 *об/сек* они будут казаться нам то красного, то синего, то зеленого цвета. Английское телевидение в 1959 г. произвело опыт передачи цвета по черно-белой телевизионной системе. Было передано простое изображение — кубик. Кубик был одного цвета, а фон — другого. Цвета получались неяркими, но вполне различимыми. Все телезрители восприняли их одинаково. Цветной эффект был создан чередованием черного и белого.




В 1962 г. подобный опыт — и даже более широкий — был повторен у нас в Иркутске. Иркутские телезрители увидели на экранах своих телевизоров большой белый круг, внутри которого один против другого были два черных кружка меньшего диаметра. Белый круг начал вращаться. По мере увеличения числа его оборотов черные кружки начали сливаться в полосы. С убыстрением вращения диска полосы стали цветными, цвета плавно переходили из одного в другой — голубой, коричневый, фиолетовый, темно-розовый, зеленый...

Иркутские экспериментаторы не ограничились этим. Их инициатор доцент Иркутского университета Л. Могилев проделал также опыты воспроизведения объема на экранах обычных телевизоров.

Все внимательные зрители замечали, что на экранах кино и телевидения иногда возникает объем, появляется перспектива. Так бывает в тех случаях, когда съемочная кинокамера или телевизионная передающая камера про-

изводит съемку с движения, когда движется она сама. Эффект наиболее заметен при движении камеры вдоль сада или леса. Это движение порождает перспективу. На экране появляется глубина, ясно, как в стереоскопии, видно, что одни деревья находятся ближе, другие — дальше.

Автор иркутских экспериментов нашел такие фигуры, которые при вращении их перед объективом телевизионной камеры начинали казаться объемными. И в результате на экранах иркутских телезрителей появились то выпуклые, то вогнутые объемные фигуры: кубок, конус, плетеная корзинка, массивное маховое колесо.

22 января 1964 г. опыт получения цветов при помощи вращающегося черно-белого диска был повторен в Ленинграде во время передачи из «Дома занимательной науки». По отзывам аудитории цвета различались легко.

Опыты и наблюдения, подобные описанным, обнадеживают. Они дают основания надеяться, что проблема цветного телевидения может быть разрешена иначе и проще, чем это сделано теперь. Нельзя утверждать, что способ чередования черного с белым пригоден во всех случаях. Может быть, им можно воспользоваться только для передачи простых рисунков, допустим мультипликационных фильмов (конечно, специально изготовленных). Но уже очевидно, что способы обойтись без передачи трех цветов имеются. Их надо исследовать и развивать, изыскивая одновременно и новые, пока неизвестные пути.

Равным образом нужно экспериментировать и с воспроизведением на экране перспективы. Движение камеры и вращение перед камерой специальных рисунков (как в иркутских опытах) не являются единственными возможностями в этом направлении. Например, многие знают, что фотографы рассматривают фотоснимки одним глазом. Если смотреть на снимок одним глазом и сделать расстояние от глаза до снимка равным фокусному расстоянию объектива фотоаппарата, которым был произведен снимок, то отпечаток явственно представляется объемным, в нем чувствуется перспектива (если отпечаток увеличен, то в расстояние вносится соответствующая поправка).

Этот же эффект можно наблюдать и в телевидении. Если смотреть на изображение на экране телевизора одним глазом, то можно подобрать такое расстояние между глазом и экраном, при котором в изображении появляется перспектива. Это особенно заметно, когда на экране много движения,

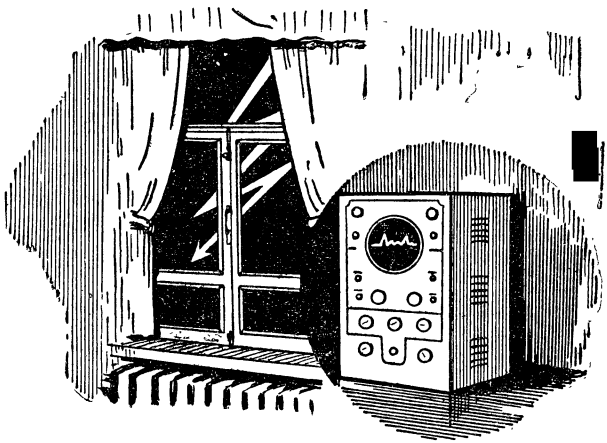
например, при передаче футбольных матчей. При этом эффект тем заметнее, чем более четко изображение на экране телевизора.

К этому можно добавить, что теперь научились делать прекрасные объемные фотоснимки для рассматривания одним глазом (снимки в шарах). Таким образом, надо упорно экспериментировать и с цветом, и с объемом, проверять и совершенствовать известные пути и искать новые.

Ясно одно — такие пути возможны.

---

Этот заголовок заставит многих читателей насторожиться. Как это так — быстрее света? Установлено, что скорость света 300 000 *км/сек* — наибольшая возможная в природе скорость, превысить которую невозможно. Это положение лежит в основе всей современной физики, является одним из ее краеугольных камней.



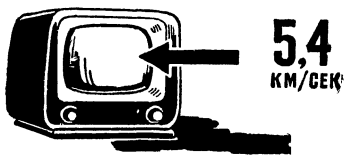
Так в чем же тут дело?

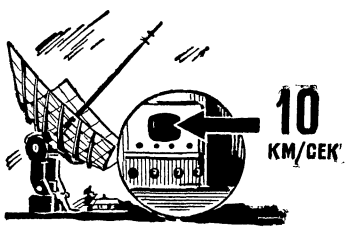
Прибором, претендующим на установление такого невероятного рекорда, является электронно-лучевая трубка.

Наивысших скоростей достигает движение точки по экрану электронно-лучевых трубок, работающих в осциллографах — специальных измерительных приборах, дающих возможность наблюдать на экране ход электрических процессов.

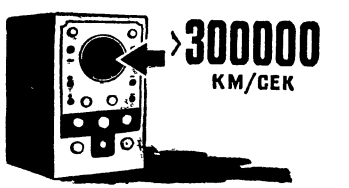
Здесь мы вплотную подошли к около- и сверхсветовым скоростям. Не будем рассматривать обычные осциллографы, у которых скорость движения пятна по экрану примерно такая же, как в телевизорах и радиолокаторах. Обратимся к специальным осциллографам, предназначенным для наблюдения сверхбыстрых процессов. Для такого осциллографа молния — слишком медленный процесс, а ведь молния длится $10^{-7}$ *сек*, т. е. одну десятимиллионную секунды.

Конечно, для того чтобы регистрировать процессы такой скорости, точка должна перемещаться по экрану чрезвычайно быстро. Действительно, строку она проходит за $10^{-9}$ *сек*, или за одну миллиардную секунды. Для этого отрезка времени есть свое название — наносекунда. Как видим, молния длится целых 100 наносекунд. Длина строки на экране осциллографа равна 10 *см*. Точка пробегает ее со скоростью 100 000 *км/сек*.




Осциллограф с такой трубкой может регистрировать процессы в тысячу раз более быстрые, чем молния, т. е. длительностью всего 0,1 наносекунды. При регистрации процесса такой длительности точка описывает некоторую кривую общей длиной около 4—5 *см*, развивая скорость 400 000—500 000 *км/сек*, т. е. скорость больше световой.




Итак, «обмана» нет. Скорость света действительно превышена, но ...И тут есть свое «но». Эта скорость принадлежит нематериальной частице. Светящееся пятно в разных положениях его создается разными электронами. По-

следовательное попадание их на различные участки экрана создает иллюзию движения точки. На самом же деле то, что мы видим на экране, не есть движение точки. Это есть последовательные появления на одной линии ряда точек.

Отрезок времени, о котором только что говорилось, $10^{-10}$ *сек*, очень мал. Представить его себе можно только путем сравнения. У нас есть житейское мерило малого отрезка времени — мгновение ока. Эта «единица» не так-то мала, она равна примерно 0,3 *сек* (время, на которое закрывается глаз при моргании). Так вот: $10^{-10}$ *сек* во столько же раз меньше «мгновения ока», во сколько раз «мгновение ока» меньше... 30 лет. В равном масштабе времени $10^{-10}$ *сек* и 30 лет отстоят от «мгновения ока» на одинаковом расстоянии, только одно в сторону увеличения, а другое в сторону уменьшения. Это сопоставление наглядно показывает, насколько мал такой промежуток времени, как $10^{-10}$ *сек*.

---

Можно ли видеть невидимое? Не подумайте, что здесь речь идет о слишком мелких объектах или же укрытых за непрозрачными преградами.

Мы хотим рассказать о том, как можно увидеть то, что мы не можем видеть из-за темноты.

Кроме световых лучей, всякое светящееся тело обычно излучает еще и невидимые инфракрасные лучи. Эти лучи обязаны своим происхождением тепловому движению молекул, существующему во всяком теле, температура которого выше абсолютного нуля. Инфракрасные лучи представляют собой электромагнитные колебания, которые по длине находятся между световыми и радиоволнами (длин-

нее световых и много короче радиоволн). Длина этих волн измеряется величинами от долей микрона до сотен микрон. Волны такой длины уже не воспринимаются органами зрения. Если тело сильно нагрето и находится недалеко от нас, то излучаемые им инфракрасные лучи мы ощущаем в виде тепла, но для удаленных источников тепла чувствительность нашей кожи недостаточна, и их теплового излучения мы не обнаруживаем.

Современная техника позволила создать приборы исключительно высокой чувствительности, которые обнаруживают ничтожнейшие количества тепла. С помощью таких приборов не представляет труда обнаружить тепло, излучаемое окружающими нас предметами, имеющими обычную температуру. Но обнаружить опять-таки не значит увидеть. Нужно еще превратить обнаруженные инфракрасные лучи в обычные световые. И такие приборы тоже есть. С их помощью созданы многие устройства для ночного видения, предназначенные в первую очередь для военных целей, например: бинокли, позволяющие видеть в темноте, ночные прицелы к автоматическому стрелковому оружию, позволяющие вести снайперский огонь ночью по «невидимым» целям, и многие другие.

Наиболее интересной частью любого прибора для ночного видения является электронно-оптический преобразователь, в котором обнаруженные инфракрасные лучи превращаются в световые, видимые обычным человеческим глазом.

Вот к чему сводится принцип устройства такого преобразователя: с помощью объектива невидимые инфракрасные лучи, идущие от наблюдаемого объекта, проектируются на специальный фотокатод, чувствительный к этим лучам. Под воздействием принятых инфракрасных лучей такой фотокатод начинает излучать электроны, причем количество их пропорционально интенсивности облучения, т. е. количеству энергии инфракрасных лучей, падающих на данную точку катода. «Яркие», если их так можно назвать (т. е. более нагретые), точки наблюдаемого объекта, от которых инфракрасных лучей приходит больше, создадут и больший вылет электронов, «темные» — меньший.

Излученные фотокатодом электроны ускоряются электрическим полем и направляются далее на люминесцентный экран, который вместе с фотокатодом помещается в вакуумной колбе. Бомбардировка экрана электронами вызывает

свечение его, которое и воспринимается нашим глазом как видимое изображение. Каждой точке фотокатода соответствует своя точка на экране. Чем больше электронов излучает данная точка фотокатода, тем ярче будет свечение соответствующей точки люминесцентного экрана. Совокупность всех точек дает изображение наблюдаемого объекта.

Чтобы энергия бомбардирующих электронов была велика и вызывала достаточно яркое свечение экрана, между ним и фотокатодом создается высокое напряжение порядка нескольких киловольт. Под действием ускоряющего электрического поля электроны приобретают большую скорость; запасенную энергию они отдают при ударе об экран в виде света.

Инфракрасные лучи в комбинации с различными электронными приборами находят все более широкое применение в технике. Они используются в самых различных случаях, когда нужно обнаружить предметы, температура которых отличается от окружающей.

Например, что можно сделать для того, чтобы предупредить столкновение самолетов в воздухе, видеть с самолета в темную ночь изображение местности, т. е. получить ее тепловую карту (так как температура различных участков земной поверхности, зданий, дорог, лесов и т. д. различна), обнаруживать реактивные самолеты (испускающие сильно нагретую струю газов)? Можно применять лучи в устройствах для самонаведения ракетных снарядов на скоростные самолеты-бомбардировщики и использовать их еще для многих целей не только в военном деле, но и в мирной жизни.

---

До сих пор спутник Земли — Луна была окутана тайной. Люди прекрасно изучили половину Луны, а другая часть ее настолько надежно закрыта от наших взоров, что увидеть

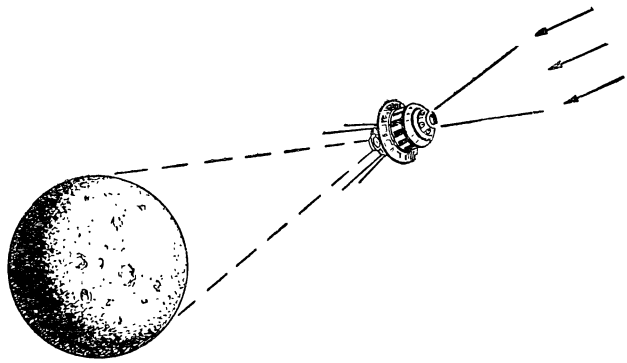
ее было невозможно. Люди даже не мечтали об этом. Ведь Луна обращается вокруг Земли так, что к нам обращена лишь одна ее половина, а вторая скрыта от взора обитателей Земли.

Гением советских людей открыта тайна второй половины лунной поверхности. И решающую роль в этом разоблачении сыграли радиотехника и радиоэлектроника.

Как известно, третья советская космическая ракета, достигнув района Луны, обогнула ее и, обходя невидимую с Земли часть лунной поверхности, сфотографировала и передала на Землю полученное изображение. Для осуществления этого на ракете был установлен целый комплекс радиотехнической аппаратуры.

Задача распадалась на две части: первая — увидеть таинственную половину Луны и вторая — передать увиденное на Землю.

Если предположить, что увидеть обратную сторону Луны с помощью ракеты удастся, то возникал вопрос: как передать увиденное на Землю? Ведь осуществить телевизионную передачу с ракеты, облетающей Луну с обратной стороны, пока было трудно из-за большого расстояния.



Поэтому было принято следующее техническое решение: при движении ракеты над обратной стороной Луны имевшаяся на космическом корабле фотосъемочная аппаратура фотографировала Луну, а передача полученных изображений на Землю производилась позднее, уже после удаления ракеты от Луны, при приближении к Земле. С этой целью была

создана сложнейшая фотосъемочная аппаратура, которая включалась в действие по команде с Земли. На специальную фотопленку фотографировалась поверхность Луны, затем эта пленка автоматически проявлялась и просушивалась. После этого в нужный момент, опять-таки по команде с Земли, включалась телевизионная аппаратура, с помощью которой фотоизображение передавалось по радио на Землю примерно по такому же принципу, как при обычном «земном» телевидении передаются кинофильмы.

На Земле телевизионное изображение не только наблюдалось в момент приема, но и записывалось различными способами, для того чтобы его можно было в дальнейшем детально изучить.

Описанный принцип получения фотоснимка в нашу эру необычайных свершений кажется простым, но с какими огромными техническими трудностями он был связан!

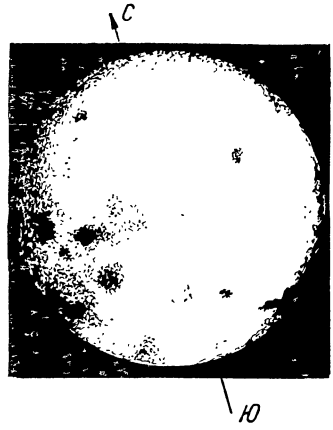
Мы уже не говорим о сложности процесса фотосъемки и телевизионной передачи на большое расстояние, осуществлявшиеся посредством сложной системы автоматики. Не говорим и об исключительных трудностях конструирования и создания разнообразнейшей малогабаритной и надежно действующей радиоэлектронной аппаратуры для ракеты, об обеспечении этой аппаратуры бесперебойно действующими источниками электропитания. Но никак нельзя не остановиться на тех трудностях, которые были связаны с передачей и приемом радиосигналов на таком огромном расстоянии.

На Земле, на расстоянии около полумиллиона километров, нужно было принять сигналы, посылаемые с ракеты передатчиком мощностью всего в несколько ватт.

Этот передатчик излучает свою энергию во все стороны, и на земную поверхность приходится лишь ничтожнейшее количество ее, которое можно подсчитать, если учесть, что на этом расстоянии вся мощность передатчика как бы распределяется при наибольшем удалении ракеты по поверхности сферы радиусом 500 000 *км*. В таких условиях каждый ватт мощности, излучаемой передатчиком ракеты, создает на 1 $м^2$ поверхности Земли мощность примерно $3 \cdot 10^{-28}$ *вт*, т. е. в результате принимаемые сигналы оказываются примерно в 1 млрд. раз слабее, чем сигналы, принимаемые от земных радиостанций. И эти сигналы нужно не только обнаружить, но и достаточно хорошо выделить на фоне сильных помех, создаваемых в приемнике как его собственными

внутренними шумами, так и помехами космического происхождения.

Задача приема таких слабых сигналов решалась высокочувствительным приемником и высокоэффективными приемными антеннами. При передаче изображений, несмотря на их высокую четкость, доходившую до 1 000 строк на кадр (т. е. в 1,5 раза выше, чем при обычном земном телевидении), полоса пропускания приемника была в целях снижения уровня шумов резко сужена. Это оказалось возможным потому, что скорость передачи неподвижного изображения, зафиксированного на фотопленке, могла быть в отличие от обычного телевидения сильно замедлена.




Для гарантии надежности работы вся аппаратура как на борту ракеты, так и на Земле была дублирована и агрегаты, вышедшие из строя, могли быть немедленно заменены запасными по радиосигналу с командного пункта на Земле.

Разработанная система передачи с предварительным фотографированием имела еще и то достоинство, что изображение можно было передавать неоднократно.

Предусматривалось также, чтобы на больших расстояниях от Земли передача изображений производилась медленно, а на малых расстояниях — в более быстром режиме.

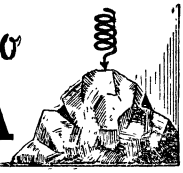
Радиоэлектронная аппаратура была в основном транзисторной.

На Земле, как уже упоминалось, телевизионные сигналы фиксировались разными способами: на фотопленку, на магнитную ленту (см. стр. 176), на скиатронах и открытой записью на электрохимической бумаге.

Все это, вместе взятое, обеспечило высокую надежность и помехоустойчивость канала радиосвязи Земля — ракета.

Таким образом, с помощью советской ракеты впервые в истории человечества была осуществлена по радио передача на сверхдальние расстояния изображений высокой четкости.

# ТАЙНА кристаллического ДЕТЕКТОРА



Можно ли подсчитать, сколько миллионов часов потратили радисты и радиолюбители всего мира на поиски чувствительной «точки» у кристаллического детектора! Ведь эта «точка» была чрезвычайно непостоянна и слишком часто сбивалась.

Лишь в самое последнее время радиолюбители получили детекторы с постоянной точкой, которые освободили владельцев детекторных приемников от утомительной необходимости прощупывать спиралькой кристалл.

Что же это за удивительная «точка»?

Больше 40 лет хранил кристаллический детектор «тайну» своей «точки». В разное время создавались различные гипотезы с целью объяснить физику работы кристаллического детектора. Была распространена, например, «дуговая» гипотеза, согласно которой работа детектора объяснялась возникновением в месте контакта острия спирали с кристаллом микроскопических электрических дуг. Потом появилась «контактная» гипотеза, по которой односторонняя проводимость детектора определялась контактной разностью потенциалов.

Однако «контактную» гипотезу постигла такая же участь, как и «дуговую».

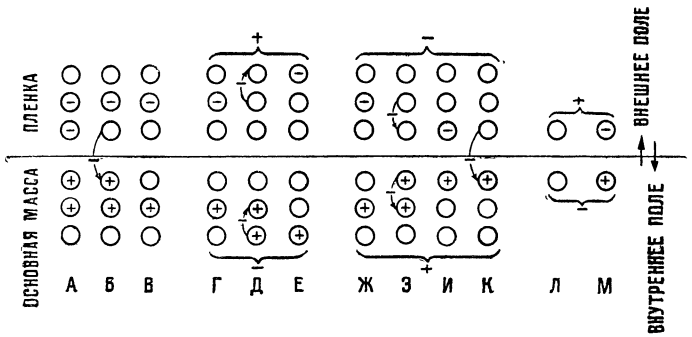
«Тайна» кристаллического детектора начала раскрываться лишь в последние предвоенные годы. Детектирующее действие кристалла оказалось следствием особенностей проводимости полупроводников. На стр. 34 уже рассказывалось о существовании у полупроводников двух видов проводимости: электронной и дырочной. Детектирующие кристаллы обладают той особенностью, что на их поверхности образуется пленка, обладающая иной проводимостью, чем сам кристалл. Если, например, кристалл обладает дырочной проводимостью, то его поверхностная пленка имеет электронную проводимость, и наоборот. Граница соприкосновения поверхностной пленки с телом кристалла образует особую зону, называемую запирающим слоем и

имеющую толщину всего в десятитысячные доли миллиметра.

Предположим, что имеется кристалл, у которого проводимость основной массы — дырочная, а поверхностной пленки — электронная, т. е. в основной массе полупроводника есть какое-то количество примесных атомов, легко расстающихся с одним из своих электронов, а в поверхностной пленке есть примесные атомы, легко захватывающие лишние элементы.

Проследим в самых общих чертах электрические процессы, которые произойдут в зоне соприкосновения поверхностной пленки с телом полупроводника. Для лучшей наглядности на рисунке показаны тонкие «столбики» атомов, расположенные в пленке и теле кристалла перпендикулярно поверхности пленки.

Столбик А характеризует начальный момент соприкосновения пленки с телом. Атом с избыточным электроном,




входящий в состав пленки, оказался рядом с атомом основного тела полупроводника, лишенным электрона, т. е. рядом с «дыркой». Электрическое поле, которое будет существовать между этими двумя атомами, заставит электрон перейти от отрицательного атома к положительному (Б). В результате соприкасающиеся атомы станут нейтральными в зоне соприкосновения зарядов не станет и образуется запирающий слой (В).

Если к кристаллу подвести напряжение плюсом к пленке и минусом к массе (Г), то внутри кристалла возникнет электрическое поле, показанное стрелками (столбик Д). Это поле переместит электроны в направлении стрелок. Под влиянием этого поля более удаленные от запорного слоя

атомы пленки, имеющие избыточные электроны, передадут их еще более удаленным атомам, а примесные «дырки» в теле кристалла заполнятся электронами, отданными атомами, более удаленными от запорного слоя. В результате запорный слой станет толще (Е) и сопротивление его возрастет. При такой полярности приложенного напряжения кристалл не будет проводить тока.

При наложении напряжения обратной полярности картина изменится (Ж). Электроны начнут двигаться в обратном направлении (З, И и К). Запорный слой станет утончаться и может совсем исчезнуть. Таким образом, кристалл будет обладать односторонней проводимостью.

При подобных рассуждениях обычно возникает сомнение: почему при условиях, показанных в столбике Г, не происходит обмена электронами между соприкасающимися атомами пленки и тела кристалла? Ниже стороны линии раздела в этом случае находится примесный атом, который легко расстается с электроном, а выше ее — примесный атом, который охотно принимает лишний электрон; что же касается приложенного к кристаллу электрического поля, то оно способствует такому переходу электрона (Л). Однако при таких рассуждениях не следует забывать, что если переход электрона действительно произойдет (Л и М), то между этими двумя атомами сейчас же возникнет поле, стремящееся возвратить электрон в исходное положение.

В итоге на электрон будут действовать два поля: внешнее, стремящееся удержать перешедший электрон, и «внутреннее», стремящееся вернуть его. Обычно «внутреннее» поле бывает сильнее, потому что атомы находятся очень близко один от другого. Но может случиться, что внешнее поле «пересилит» и подобный перенос электронов действительно начнется. Это будет означать, что запорный слой «пробит»: кристалл попал под пробивное напряжение. Выпрямляющая «точка» перестанет существовать, и придется искать новую.

Таким образом, сопротивление кристалла зависит от полярности приложенного к нему напряжения: в одном направлении оно больше (запирающий слой становится толще), а в другом — меньше (запирающий слой делается тоньше и даже совсем исчезает). Благодаря такой односторонней проводимости кристалл детектирует.

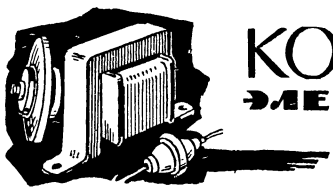
Поверхностная пленка на кристалле в разных местах неодинакова. Ее характер зависит от многих причин и

в особенности от примесей посторонних веществ. Поэтому «точку» приходилось искать. Естественно, чем меньше площадь соприкосновения спиральки с кристаллом, тем больше шансов, что удастся нащупать поверхность с однородной пленкой. Поэтому острие спиральки надо было хорошо затачивать: площадь контакта должна быть порядка десятых долей микрона. Слишком сильный нажим острия мог повредить пленку. Поэтому контактирующую с кристаллом проволочку приходилось закручивать в спираль — она ограничивала возможность сильного нажима. Под воздействием сильных электрических импульсов, например интенсивных атмосферных разрядов, пленка разрушалась и «точка» «сбивалась». Поэтому найденная «точка» не сохранялась надолго.

Лишь в последние годы, когда физика работы кристалла была выяснена, научились делать кристаллы с прочной однородной поверхностной пленкой и обеспечивать наилучший контакт с работающими в паре с ними проводничками.

Современные кремниевые и германиевые детекторы обладают очень большой чувствительностью и весьма постоянной «точкой». Кристаллические детекторы, неразрывно связанные в наших воспоминаниях с простейшим детекторным приемником, успешно работают теперь в сложнейшей радиоаппаратуре — телевизионной и радиолокационной.

---



## КОНКУРЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

Электронную лампу недаром называют чудесной лампой. Она уже дала возможность человеку осуществить многое из того, о чем он на протяжении долгих тысячелетий мог лишь мечтать, как нам повествуют об этом стародавние сказки.

Своими успехами и победами электронная лампа обязана тому, что работа ее основана на использовании электронов,

с огромными скоростями несущихся в пространстве внутри лампы и почти мгновенно подчиняющихся велениям управляющих электродов.

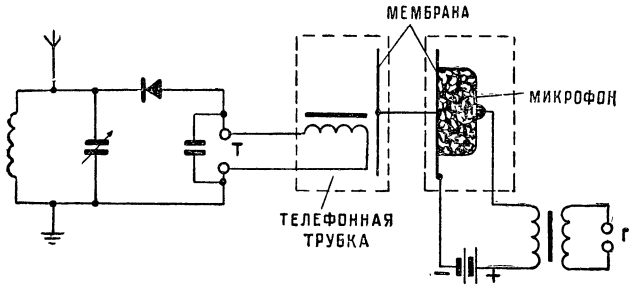
Может ли другое устройство конкурировать с электронной лампой?

Оказывается, может.

Электронная лампа знала конкурентов в прошлом. У нее есть очень серьезные конкуренты и в настоящем.

Первым пытался соперничать с электронной лампой так называемый микрофонный усилитель.

Основными частями усилителя являются телефонная трубка и угольный микрофон, мембраны которых жестко соединены. При подведении к обмотке телефона переменного напряжения в цепи микрофона за счет энергии батарейки можно получить несколько усиленное напряжение.




Такие усилители потребляют очень большой ток — примерно четверть ампера, но основным их недостатком являются большие искажения. Ограниченное практическое применение они находили в прошлом главным образом в слуховых аппаратах, предназначенных для тугоухих. Главнейшими требованиями, предъявляемыми к слуховым аппаратам, всегда были легкость и компактность. Искажения не играют особо большой роли, лишь бы было разборчиво.

Первоначально электронным лампам было трудно конкурировать в слуховых аппаратах с микрофонными усилителями из-за больших размеров самих ламп и малой экономичности их. Однако лампы новейших типов, в частности пальчиковые и сверхминиатюрные, а затем и транзисторы, дали возможность сконструировать весьма компактные,

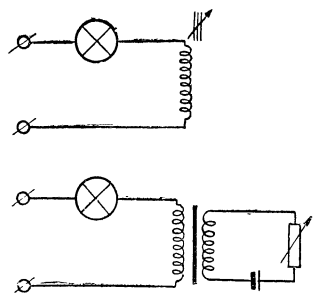
легкие и экономичные слуховые аппараты, позволяющие получить большое усиление при высокой естественности воспроизведения. Поэтому в слуховых аппаратах микрофонные усилители больше не применяются. Попытки использовать их в качестве усилителей для детекторных приемников не увенчались успехом по ряду причин, из которых главнейшими являются опять-таки значительные искажения и большое потребление тока.

Вторым конкурентом электронной лампы был цинкитный кристаллический детектор, который в результате разработанной сотрудником Нижегородской радиолаборатории О. В. Лосевым специальной обработки и при найденных им условиях работы мог генерировать и давать известное усиление.

Лосевым был сконструирован приемник с таким детектором — кристадин, значительно более чувствительный, чем обычный детекторный. Кристадины получили некоторое распространение, но были вытеснены электронной лампой, работавшей гораздо более устойчиво и дававшей большее усиление.

Таким образом, в прошлом электронной лампе удалось довольно легко справиться со своими «конкурентами».

Несравненно более тяжелую борьбу приходится вести электронной лампе с конкурентами в наши дни.



В ряде областей с успехом применяются магнитные усилители.

Принцип действия магнитных усилителей состоит в следующем. Известно, что величина сопротивления катушки переменному току зависит от ее индуктивности. У катушек с сердечником индуктивность зависит от магнитной проницаемости сердечника. Мы можем, например, включить осветительную лампу в сеть переменного тока через катушку. Пока у катушки не будет сердечника, лампа будет гореть ярко. Если начать вдвигать в катушку сердечник, то сопротивление катушки станет возрастать и яркость накала лампы будет уменьшаться. Чем больше вдвинут сердечник и чем выше его магнитная проницаемость, тем слабее будет накал лампы.

Величину магнитной проницаемости можно изменять подмагничиванием сердечника постоянным током. Если в нашем опыте на сердечник катушки намотать дополнительную обмотку и пропустить по ней постоянный ток, то изменением величины этого тока можно будет регулировать степень накала лампы. При отсутствии в дополнительной обмотке постоянного тока накал лампы будет наименьшим.

Подмагничивая сердечник постоянным током, пропущенным через первичную обмотку, можно изменять величину переменного тока во вторичной обмотке, намотанной на этом сердечнике. При этом замечательно, что очень малые изменения тока в первичной обмотке вызывают значительные изменения тока во вторичной обмотке. Подобно тому как анодный ток электронной лампы чутко реагирует на изменения напряжения на сетке, так и ток во вторичной обмотке трансформатора чутко реагирует на малейшие изменения тока в подмагничивающей обмотке. Эта особенность трансформаторов позволяет использовать их для усиления, т. е. осуществить магнитные усилители, примешивая к току подмагничивания сигналы, которые надо усилить.

Магнитные усилители дают возможность получать огромные усиления — в десятки и даже сотни тысяч раз; они очень компактны, не боятся толчков и тряски и обладают многими ценными достоинствами. Но у них есть и недостатки. Главнейшим из них является то, что пока они хорошо работают лишь на сравнительно низких звуковых частотах. Однако есть основание полагать, что этот недостаток будет преодолен. Во всяком случае круг тех применений, главным образом в виде очень чувствительных реле, откуда магнитный усилитель вытесняет электронную лампу, все расширяется.

Магнитные усилители потенциально являются опасными соперниками электронных ламп, во всяком случае в отношении усиления колебаний низкой частоты, но, пожалуй, еще большая «опасность» грозит им со стороны полупроводниковых электронных приборов.

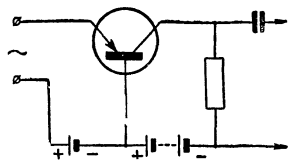
Кристадин О. В. Лосева в свое время не выдержал натиска электронной лампы и сдал свои позиции более удачливому сопернику. Но он не был совершенно забыт. Много непонятного было в работе как генерирующих кристаллов Лосева, так и обыкновенных кристаллических детекторов,

Пытливые исследователи — следопыты науки продолжали изучение их, оказавшееся чрезвычайно плодотворным. Зародилась и развилась новая отрасль науки — наука о полупроводниках.

Полупроводниковые приборы обладают многими ценными свойствами. Виды и области применения их непрерывно множатся. Купроксные и селеновые выпрямители, новейшие термогенераторы — это все полупроводниковые устройства, прочно вошедшие в технику.

Особенно большие успехи сделали за последние годы полупроводниковые приборы — кристаллические диоды и триоды (транзисторы).

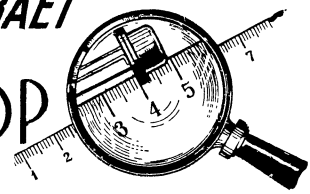
Уже само это название говорит об очень многом. Кристаллические диоды и триоды, являющиеся по существу старыми кристаллическими детекторами, названы, как лампы, диодами и триодами. Эти названия не шутливые, не такие, которые берутся в кавычки. Они действительно наилучшим образом отражают свойства детекторов новейшего типа. Эти кристаллические детекторы теперь уже не только могут в ряде применений заменить электронную лампу, но часто дают даже лучшие результаты, чем она.




У кристаллических диодов все процессы происходят в слое толщиной около 0,0001 *мм*. Входная емкость кристаллического диода около 0,1 пикофарады, а «шумят» кристаллические диоды тем меньше, чем выше частота. Силы вакуумного и кристаллического диодов оказались неравными. Кристалл взял реванш и вытеснил лампу с одной из позиций, прекрасно справившись, в частности, с обязанностями смесителя.

Но эта победа не была, выражаясь языком военных, «локальной», т. е. ограниченной одним местом, в известной степени случайной и маловажной. Было установлено, что кристаллы могут усиливать электрические колебания (см. стр. 206). Электронной лампе приходится потесниться и в ряде применений уступить место полупроводниковым приборам.

# Почему усиливает транзистор

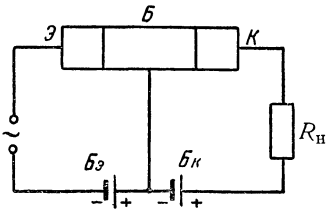


Наибольшее распространение получили транзисторы плоскостного типа. Они устроены следующим образом: на противоположных боковых сторонах кристалла — пластинки из полупроводника, которая носит название базы, искусственно создают слои с иным видом проводимости, нежели у самой пластинки. Предположим, что у пластинки дырочная проводимость; тогда на ее боковых поверхностях — слева и справа, как показано на рисунке, — создают слои с электронной проводимостью. К базе и поверхностным слоям приварены проводники, образующие выводы. Между поверхностными слоями, которые обозначены буквами Э и К, и базой Б приложено напряжение от батарей $Б_э$ и $Б_к$ с указанной на рисунке полярностью.

Каждый поверхностный слой образует с базой как бы диод, а граница между слоем и базой является внутренним переходом. Таким образом, в транзисторе имеются два внутренних перехода: один — между левым слоем Э и базой Б и другой — между базой Б и слоем К. В каждом из этих переходов имеют место процессы, сущность которых описана в очерке на стр. 198. К чему это приводит? К левому слою Э приложено отрицательное напряжение относительно базы. Это создает внутри слоя электрическое поле, под действием которого запорный слой на границе между областями Э и Б становится тоньше, и электроны из слоя Э будут легко проникать в базу. Образно это можно представить себе так, будто левый слой создает поток электронов, устремляющихся к основанию, как бы «впрыскивает» электроны в кристалл. Поэтому его называют эмиттером — «испускателем» и мы обозначили его на рисунке буквой Э.

Переход между эмиттером и базой имеет малое сопротивление, и это приводит к тому, что небольшие изменения напряжения на эмиттере вызывают значительные изменения тока в его цепи через левый переход.

Теперь посмотрим, что происходит во втором переходе. К правому слою К, имеющему электронную проводимость, приложено положительное напряжение относительно базы, и поэтому картина здесь имеет характер, обратный рассмотренному выше: внешнее напряжение создает внутри области К электрическое поле, увеличивающее толщину запорного слоя на границе между Б и К. Поскольку своих свободных электронов в основании, имеющем дырочную проводимость, нет, поступления новых электронов из базы в правый слой не будет. Следовательно, и тока во внешней цепи между батареей $Б_к$ и слоем К не должно быть. Но зато для продвижения электронов, проникших в базу слева, из эмиттера, создаются очень хорошие условия: они попадают под действие поля, которое способствует дальнейшему продвижению их по направлению к правому поверхностному слою и легкому переходу в этот слой, а затем и далее — во внешнюю цепь, к батарее. Правый слой К как бы собирает в себя электроны, «впрыскиваемые» эмиттером. Поэтому ему присвоили название «коллектор — собиратель».




Ток в цепи коллектора создается, таким образом, за счет электронов, введенных в базу со стороны эмиттера, и будет тем больше, чем больше он их «впрыскивает», или — можно сказать и так — чем больше его «эмиссия» электронов. Мы пока говорили только о том, что происходит в транзисторе под действием напряжений, создаваемых батареями питания $Б_э$ и $Б_к$. Если в цепь эмиттера ввести еще и переменное напряжение, то под его воздействием эмиссия будет увеличиваться и уменьшаться с частотой этого напряжения; следовательно, с такой же частотой будут происходить и колебания тока в цепи коллектора.

Нужно оговориться, что приведенное описание процессов, происходящих внутри транзистора, очень упрощено. В действительности эти процессы неизмеримо сложнее.

Теперь перейдем к внешней, выходной цепи — цепи коллектора. В нее включено нагрузочное сопротивление $R_н$, на котором при прохождении коллекторного тока будет создаваться падение напряжения. Чем сильнее ток, тем больше будет падение напряжения на $R_н$. Но так как ток в цепи коллектора зависит от величины эмиссии электронов

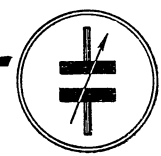
эмиттером *Э*, можно сказать, что падение напряжения на нагрузочном сопротивлении зависит от величины эмиссии электронов, а последняя в свою очередь определяется введенным в цепь эмиттера переменным напряжением. В такт с этим напряжением будет изменяться и падение напряжения на нагрузке.

Общий «механизм» усиления транзистора можно представить себе таким же, как у вакуумного триода или вообще у вакуумных электронных ламп (см. стр. 56). При этом, если говорить об аналогии транзистора с электровакуумным триодом, эмиттер можно считать аналогом катода, базу — аналогом сетки, а коллектор — аналогом анода. Триод можно рассматривать для наглядности как переменное сопротивление, величина которого зависит от эмиссии эмиттера, в свою очередь зависящей от приложенного к нему напряжения. Это переменное сопротивление соединено последовательно с сопротивлением нагрузки коллектора и источником его питания. В соответствии с изменениями сопротивления триода будет происходить перераспределение напряжений между этим переменным и нагрузочным сопротивлениями.

В приведенных схемах включения транзистора на его коллектор подан «плюс». Это необязательно. Широко распространены конструкции, в которых проводимость основания не дырочная, а электронная. Проводимость поверхностных слоев, наоборот, дырочная. Полярность батарей изменяется: на эмиттер подается положительное, а на коллектор — отрицательное напряжение. Эмиттер в этом случае эмиттирует уже не электроны, а дырки. Сам же принцип работы транзистора от этого не меняется.

---

## Еще один конкурент

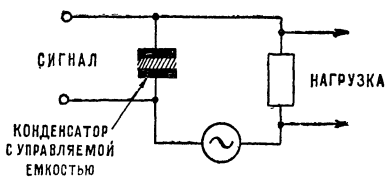


В прошлом удалось выявить еще одного потенциального конкурента электронной лампы, причем на первый взгляд трудно даже представить себе, что он способен на это.

Таким конкурентом, как ни странно, является конденсатор. Правда, это конденсатор не обычного типа, а с диэлектриком, обладающим особыми свойствами: во-первых, сверхвысокой диэлектрической проницаемостью ε и, во-вторых, способностью изменять величину ε в довольно значительных пределах под действием приложенного к конденсатору напряжения. Подобными свойствами обладают, в частности, такие диэлектрики, как титанаты бария и бариевостронциевые титанаты.

Небольшое изменение напряжения, приложенного к конденсатору с таким диэлектриком, влечет за собой резкое изменение его емкости. Для материала, используемого в качестве диэлектрика в обычных конденсаторах, такое непостоянство ε является крупным недостатком, так как неустойчивость величины емкости (зависимость ее от напряжения) не позволяет использовать такой конденсатор там, где требуется постоянная емкость. Но это же свойство натолкнуло на мысль о возможности использования конденсаторов с таким диэлектриком для создания усилителей, которые получили название диэлектрических.

Идея, лежащая в основе работы такого усилителя, сходна с принципом работы магнитного усилителя. В магнитном усилителе используется зависимость сопротивления катушки переменному току от величины ее индуктивности, но подобным же свойством обладает и конденсатор: его сопротивление переменному току зависит от величины емкости и будет тем меньше, чем больше емкость. Следовательно, включив конденсатор в цепь с источником переменного тока, можно регулировать величину тока в цепи, изменяя емкость конденсатора. Последовательно с конденсатором можно включить нагрузку, например простое сопротивление. Тогда на нагрузке будет падать напряжение, пропорциональное току в цепи: если ток в цепи будет меняться, то в точном соответствии с ним будет изменяться и падение напряжения на нагрузке.




Эта зависимость и используется в диэлектрическом усилителе. Действие такого усилителя основано на том, что уже самое небольшое увеличение или уменьшение подводимого на-

пряжения сопровождается значительными изменениями его емкости и приводит к соответственно бо́льшим изменениям величины текущего через конденсатор тока. В результате на нагрузке получается переменное напряжение, величина которого изменяется пропорционально подводимому сигналу, т. е. напряжению, приложенному к конденсатору.

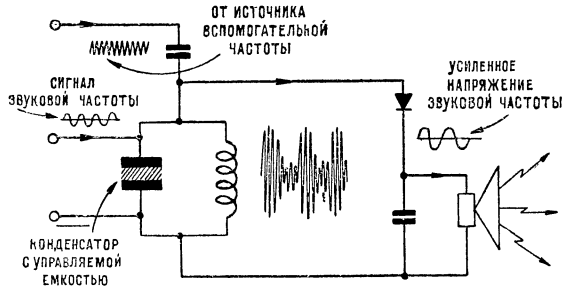
Здесь много общего с магнитным усилителем, в котором используется принцип изменения тока в цепи путем изменения индуктивности под действием приходящего сигнала.

Но у диэлектрического усилителя есть существенные преимущества. Область применения магнитных усилителей пока ограничивается токами самых низких частот, диэлектрический же усилитель может работать на очень высоких частотах — до нескольких мегагерц. Работа на таких частотах позволяет использовать еще более эффективный вариант схемы усилителя.

Для этого управляемый конденсатор включается в колебательный контур, который настраивается в резонанс с частотой питающего его вспомогательного источника переменного тока высокой частоты. Как известно, при резонансе сопротивление такого контура очень велико и напряжение на нем достигает максимума. При расстройке напряжение на контуре резко падает. Это свойство можно использовать, например, для получения усиления на звуковых частотах. Для этого усиливаемое напряжение звуковой частоты подается на конденсатор. Вследствие этого емкость конденсатора будет изменяться с такой же частотой, а вместе с тем будет изменяться и высокочастотное напряжение на контуре.

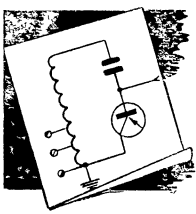
При надлежащем выборе емкости конденсатора и частоты вспомогательного источника тока можно добиться того, что высокочастотное напряжение на контуре будет изменяться на величину, во много раз превышающую напряжение входного сигнала. Диэлектрический усилитель такого рода выполняет свои функции любопытным образом; он является как бы модулятором-усилителем: высокочастотное напряжение на контуре модулируется приходящим сигналом звуковой частоты. Продетектировав теперь это модулированное напряжение, мы выделим из него усиленное напряжение звуковой частоты. Имеются данные о том, что один каскад подобного диэлектрического усилителя может дать усиление

колебаний звуковой частоты по мощности в несколько сотен и даже тысяч раз.




Описанный вариант схемы диэлектрического усилителя является лишь одним из возможных. Преимущество подобных усилителей заключается в их малых размерах и большой прочности, а также в полном отсутствии затрат энергии на накал катода, которого у диэлектрического усилителя нет вообще. Эти преимущества кажутся довольно заманчивыми, поэтому в ближайшие годы можно ожидать работ по практическому применению диэлектрических усилителей. В последние годы появились усилители еще нескольких типов, о которых рассказывается дальше.

---



# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

Может быть, не каждый пытался поразмыслить над тем, что представляет собой усиление.

Мы не можем усилить электрические колебания, не затратив на это энергии. Усиленные колебания будут иметь большую мощность, их энергия возрастет. Излишек энергии не может возникнуть из ничего. Он должен быть введен извне.

Так в действительности и происходит. Усилитель не может работать без питания, без ввода в него энергии, причем энергия должна быть введена в систему так, чтобы имеющиеся в ней электрические колебания усилились. Ввод энергии должен происходить в такт с колебаниями, иначе можно не увеличить существующие колебания, а заглушить их.

К новым видам усилителей относятся так называемые параметрические усилители. Познакомимся с их работой.

Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и конденсатора. Величины индуктивности и емкости являются параметрами контура. Вспомним, чему равно напряжение на конденсаторе при подведении к нему какого-нибудь заряда. Оно равно

$$U = \frac{q}{C},$$

где $U$ — напряжение на конденсаторе; $q$ — его заряд, а $C$ — его емкость.

Напряжение прямо пропорционально величине заряда и обратно пропорционально емкости конденсатора. Из этого выражения вытекает, что для увеличения напряжения на конденсаторе необязательно увеличивать его заряд, т. е. сообщать ему дополнительную порцию электричества. Этого можно добиться также путем уменьшения емкости конденсатора.

Если в контуре происходят электрические колебания, то заряд и, следовательно, напряжение на конденсаторе изменяются синусоидально. Два раза в течение периода заряд на обкладках конденсатора будет наибольшим.

А что произойдет, если мы как раз в эти моменты уменьшим емкость конденсатора? Заряд конденсатора от этого не изменится, но напряжение на конденсаторе возрастет во столько же раз, во сколько раз уменьшилась емкость конденсатора.

Но увеличение напряжения на конденсаторе означает увеличение амплитуды колебаний, усиление их. Таким образом, для усиления колебаний в контуре можно в моменты наибольшего заряда конденсатора уменьшать его емкость, с тем чтобы в моменты полного разряда конденсатора возвращать емкость конденсатора к его начальной величине. Два раза в течение периода колебаний придется

увеличивать емкость и 2 раза возвращать ее к исходному значению. Делать это надо в такт с колебаниями точно в моменты наибольшего заряда и полного разряда и в фазе с ними: уменьшать в моменты полного заряда и увеличивать в моменты полного разряда.

Пользуясь таким способом, можно усилить колебания в контуре. Так как усиление осуществляется путем изменения одного из параметров контура, такой способ получил название параметрического усиления.

Естественно, что усиление и тут не происходит без затраты энергии. В конденсаторе между пластинами существует электрическое поле, и чтобы раздвинуть пластины, надо затратить известную энергию. Эта энергия увеличивает поле конденсатора, вследствие чего и возрастает напряжение на нем. В моменты полного разряда конденсатора увеличение емкости его до начальной величины не будет сопровождаться сообщением ему какой-либо дополнительной энергии, так как сближение пластин не встречает противодействия поля, которое отсутствует (другого рода потери энергии на восстановление начальной емкости конденсатора мы для простоты не учитываем).

Практическое осуществление параметрического усилителя не представляет особой сложности. Для этой цели можно воспользоваться, например, полупроводниковым диодом. У диода имеется запорный слой, в котором отсутствуют свободные носители зарядов. Этот слой находится между слоями различной проводимости. Таким образом, диод по существу представляет собой конденсатор. Расстояние между «пластинами» этого конденсатора, т. е. толщина запорного слоя, зависит от знака и величины напряжения в обоих слоях. При подведении напряжения в «прямом» направлении толщина слоя уменьшается, при подведении напряжения обратного значения она увеличивается. Изменяя напряжение на слоях диода, можно изменять нужным образом емкость «конденсатора», которым является диод. Диод представляет собой «конденсатор переменной емкости», у которого изменение емкости может управляться теми же колебаниями, которые надо усилить, а электропитание он получает от генератора, который часто называют генератором накачки.

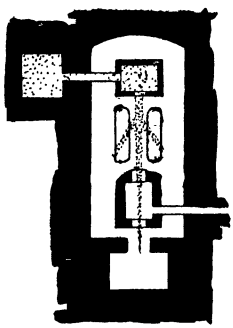
Увеличение амплитуды колебаний, усиление их не может быть бесконечным. По достижении некоторого предела

устройство начнет генерировать колебания — превратится в параметрический генератор.

Современные диоды позволяют параметрическим усилителям работать на очень высоких частотах — до нескольких десятков тысяч мегагерц. Параметрические усилители характерны очень малыми собственными шумами. Если на запорный слой подать некоторое отрицательное смещение, то свободные носители зарядов будут в этом слое практически отсутствовать и шумы окажутся сведенными к незначительной величине.

Как заметил, наверное, читатель, у параметрических усилителей очень много общего с регенеративными усилителями. Это сходство простирается еще дальше. Возможно устройство своего рода «сверхрегенеративных» параметрических усилителей. Принципы действия сверхпараметрического и сверхрегенеративного усилителей по существу аналогичны. Параметрический усилитель определенное количество раз в секунду доводится до генерации, которая тут же гасится (так же работает и сверхрегенератор). Параметрический сверхрегенератор позволяет усиливать мощность сигнала в некоторых случаях в десятки миллионов раз.

---



# МОЛЕКУЛА КОНКУРИРУЕТ С РАДИОЛАМПОЙ

Принцип действия усилителей с лампой бегущей волны известен довольно широко. В этой лампе излучаемый катодом пучок электронов окружен спиралью, по которой движется электромагнитная волна. Диаметр витков и шаг спирали подбираются так, чтобы продвижение волны вдоль оси спирали происходило с такой же скоростью, с какой движутся электроны в пучке. Движущаяся волна взаимодействует с пучком электронов; она образует в нем сгущения и разрежения в соответствии с ее полем. Эти сгущения

и разрежения, продвигаясь по пучку, в свою очередь взаимодействуют с волной и, находясь в такте и фазе с нею, усиливают ее. Происходит обмен энергией между пучком электронов и электромагнитным полем. Усиление происходит в конце концов за счет энергии источников питания лампы. Для нас в данном случае представляет интерес то, что электромагнитные колебания усиливаются здесь не в контуре, а непосредственно в пространстве внутри лампы. Нужная для усиления энергия черпается из поля электронного пучка.

Нечто похожее происходит и в одном из новейших видов усилителей — молекулярных усилителях. Здесь электромагнитная волна движется в атмосфере какого-нибудь газа, «по пути» отнимает у него энергию и вследствие этого усиливается. Энергия газовых молекул при этом уменьшается. Так как непосредственное участие в этом виде усиления принимают молекулы, такие усилители и были названы молекулярными.

После прочтения предыдущего абзаца у читателя возникнут два вопроса. Первый: почему же электромагнитные волны, распространяясь в воздухе, т. е. тоже в газе, не усиливаются? Второй: в этом случае как будто нарушается «закон» о необходимости расходования энергии на усиление? Ведь для газа не нужны батареи накала или анодные, а если на усиление и расходуется энергия газа, то это энергия «бесплатная»: пусть после усиления энергия газа станет меньше, пусть он, например, охладится.

Ответ на эти вопросы очень прост: не каждый газ способен усиливать электромагнитные колебания. Это может проделать только особым образом подготовленный газ, и на эту его подготовку приходится затрачивать энергию.

Обычно мы имеем дело с большими массами вещества, которые подчиняются законам старой классической физики. Масса тела, его скорость, энергия могут быть любыми. Скажем, скорость тела может изменяться плавно. Отдельные элементарные частицы также могут обладать произвольными скоростями и, следовательно, любым количеством кинетической энергии. Но если элементарные частицы образуют связанные системы — атомы или молекулы, то внутренняя энергия такой системы, обусловленная взаимным расположением составляющих ее частиц, не может принимать любые произвольные значения. Эти значения могут быть только вполне определенными. Их может быть не-

сколько, система может иметь определенный набор допустимых, «разрешенных» для нее, так называемых энергетических, уровней. Энергия ее не может получить значение, по величине промежуточное между двумя «разрешенными» уровнями. В таких случаях говорят, что энергия системы квантована. Изменение энергии системы может происходить только скачками: с одного «разрешенного» уровня на другой.

Изменение энергетического уровня сопровождается определенными физическими изменениями. Они могут состоять, например, в переходе электрона с одной оболочки на другую или в изменении вращательной энергии молекул.

Для того чтобы элементарная система перешла на высший энергетический уровень, ей должно быть сообщено определенное количество энергии. Это может быть энергия электромагнитной волны. Подготовленный таким образом газ будет поглощать электромагнитные волны соответствующей частоты. Если элементарная частица возвратится в свое первоначальное энергетическое состояние, то она излучит электромагнитную волну такой же частоты. Следует учесть два обстоятельства. Первое: энергии, нужной для перехода элементарной системы на более высокий энергетический уровень, соответствует совершенно определенная частота электромагнитных колебаний. Объясняется это тем, что энергия электромагнитной волны зависит от ее частоты. Данные элементарные системы будут поглощать и излучать электромагнитные волны только совершенно определенной частоты. Второе: устойчивым состоянием системы является состояние, соответствующее наименьшему энергетическому уровню. Каждая система, находящаяся на более высоком энергетическом уровне, стремится перейти в такое устойчивое состояние. Достаточно малейшего импульса извне, чтобы такой переход состоялся и система перешла в устойчивое состояние, излучив порцию электромагнитных колебаний.

Представим себе теперь, что у нас имеется газ, все молекулы которого искусственно переведены на некоторый энергетический уровень, превышающий наименьший. Можно сказать, что они находятся в «возбужденном» состоянии. Если через этот газ пропустить электромагнитные колебания соответственной частоты, то под их воздействием элементарные системы будут совершать переход на низший энергетический уровень, а освобождающаяся при этом энер-

гия будет излучаться в виде электромагнитных колебаний той же частоты, какая вызвала этот переход. Таким образом, электромагнитные волны, попавшие в атмосферу такого «возбужденного» газа, усиливаются, энергия их увеличивается за счет той, которая излучается элементарными системами, образующими газ.

Конечно, такое увеличение энергии не будет длительным. Через какой-то промежуток времени, практически очень короткий, все частицы газа перейдут на низший уровень и усиление электромагнитных волн прекратится. Вернее, начнется обратный процесс: частицы газа начнут поглощать кванты энергии электромагнитной волны (ведь она именно такой частоты, какая нужна для этого) и вновь переходить в «возбужденное» состояние. На это будет затрачиваться энергия электромагнитной волны, введенной в газ, и она начнет не усиливаться, а ослабляться.

Чтобы этого не произошло, надо непрерывно поддерживать частицы газа в возбужденном состоянии. Это и делается в молекулярных усилителях. Такие усилители представляют собой герметизированный и предварительно откачанный стеклянный сосуд, через который пропускается пучок молекул газа, обычно аммиака, соответствующим образом обработанных и отсеянных, т. е. находящихся в активном «возбужденном» состоянии. В сосуде они проходят через объемный резонатор, взаимодействуют с электромагнитной волной и отдают ей свою энергию. Потерявшие активность молекулы газа откачиваются, а на их место в сосуд поступают все новые массы активных молекул. Усиленные электромагнитные колебания отводятся из объемного резонатора обычными способами.

Здесь рассказано о молекулярном усилителе лишь в самых общих чертах и в упрощенном виде, чтобы дать представление об основном принципе его работы. Молекулярные усилители сложны, но они обладают одним важным преимуществом: они не «шумят», почти свободны от «внутренних» шумов. Их известным неудобством является возможность усиления колебаний лишь одной частоты, свойственной используемому газа. У аммиака эта частота соответствует длине волны 1,27 *см*. Зато такое постоянство частоты является исключительным преимуществом молекулярных генераторов.

Частоты двух экземпляров молекулярного генератора отличаются одна от другой не больше, чем на одну миллиард-

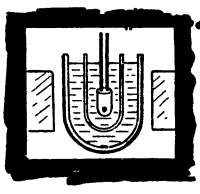
ную долю. Молекулярный генератор — самый стабильный по частоте из всех известных.

Для работы молекулярного генератора нужен пучок из миллиарда миллиардов молекул в секунду. Откачка такого количества молекул трудна. Поэтому отработанные молекулы аммиака (как было сказано, практически в настоящее время используется аммиак) просто вымораживаются.

Внутри сосуда есть поверхности, охлаждаемые жидким азотом до температуры минус 196° С. Молекулы «отработанного» аммиака примерзают к этим поверхностям.

С помощью аппаратуры такой «квантовой радиоэлектроники» нашими учеными Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым достигнуты были замечательные результаты. Например, оказалось возможным создать «радиоэлектронные сверхточные часы», дающие ошибку за 3 000 лет на 1 *сек.*

---



## Парамагнитные усилители

Отсутствие шумов, свойственное молекулярным усилителям и генераторам, является огромным положительным качеством их. Они способны усиливать или генерировать электромагнитные колебания только одной частоты. Ни перестраивать такие усилители и генераторы на другую частоту, ни усиливать или генерировать при их помощи широкую полосу частот не представляется возможным. Поэтому их «моночастотность» можно считать одновременно и большим достоинством, и не менее значительным недостатком.

Нельзя ли как-нибудь обойти этот недостаток?

Попробуем разобраться в том, почему молекулярный усилитель моночастотен. Действующий в усилителе (генераторе) пучок молекул состоит из отдельных самостоятельных молекул, не находящихся во взаимосвязи. Такие молекулы совершенно однородны, имеют одинаковые «разрешенные» энергетические уровни, и переход молекул с одного

уровня на другой сопровождается поглощением или излучением электромагнитных колебаний точно одинаковой частоты.

Из молекулярной физики известно, что если молекулы находятся во взаимосвязи с другими молекулами, то образованные связанными молекулами системы имеют другие энергетические уровни, нежели отдельные молекулы, а само число «разрешенных» уровней у них будет больше. Поэтому многочастотный усилитель должен иметь в качестве «рабочего тела» связанные молекулы. Такие молекулы могут возникнуть в газах, если частицы его могут комбинироваться. Еще чаще такие молекулы могут возникать в жидкостях и твердых телах.

В этих случаях весьма трудно переводить молекулы или системы их в активное «возбужденное» состояние, в котором они обладают избыточной энергией. Однако нашим ученым удалось преодолеть это затруднение и разработать способ усиления (генерирования), получивший название парамагнитного.

Суть его заключается в следующем. Был взят парамагнитный (обладающий слабыми магнитными свойствами) кристалл, имеющий три энергетических уровня: энергия третьего уровня больше энергии второго, энергия которого в свою очередь больше энергии первого, являющегося самым низким. Если такой кристалл охладить, то число частиц, находящихся на разных уровнях, будет неодинаковым. Например, при некоторых условиях больше всего частиц будет на низшем уровне. На среднем уровне их будет на 5% меньше, а на высшем — на 20% меньше.

При пропускании через кристалл электромагнитных волн такой частоты, которая соответствует разности энергий между любыми из трех уровней, будет происходить поглощение энергии. При подборе волн нужной частоты будет, например, происходить переход частиц с первого (низшего) уровня на третий. В результате число частиц на первом и третьем уровнях может стать одинаковым. При этом на среднем уровне окажется больше частиц, чем на низшем; следовательно, в кристалле будет иметься избыток энергии, он будет «возбужден». Если направить в него электромагнитную волну, способствующую переходу частиц со второго уровня на низший, то будет освобождаться энергия; в результате электромагнитная волна окажется усиленной.

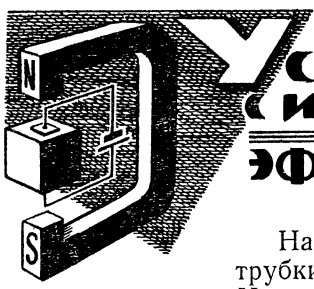
Парамагнитный кристалл приходится сильно охлаждать — почти до температуры абсолютного нуля. Охлаждение производится жидким гелием. Кристалл помещается между полюсами сильного магнита. Изменяя величину магнитного поля, можно в широких пределах перестраивать усилитель на разные частоты. Объясняется это тем, что величины энергетических уровней кристалла, а следовательно, и частота электромагнитных колебаний, способствующая переходу частиц с одного уровня на другой, зависят у парамагнитного кристалла от величины магнитного поля.

Внутренние шумы парамагнитных усилителей крайне малы, чему способствует сверхнизкая температура.

Парамагнитные усилители и генераторы пока сложны и неудобны, но они имеют много важных достоинств. Если удастся обойтись без охлаждения и других усложнений, то усилительным элементом будет являться один кристалл — не портящийся, не изнашивающийся, не боящийся тряски и пр. Электромагнитные колебания пропускаются через кристалл и выходят из него усиленными.

Перспектива очень заманчивая и отнюдь не фантастическая.

---




## Усилители с использованием эффекта Холла

На горловину электронно-лучевой трубки надет магнит ионной ловушки. Назначение его известно: он отклоняет пучок электронов, летящих от катода к аноду трубки. Отклонение происходит из-за взаимодействия движущихся зарядов с магнитным полем. В результате электронный пучок попадает в отверстие диафрагмы и получает возможность двигаться дальше, а более тяжелые ионы отклоняются меньше, в отверстие не попадают и задерживаются диафрагмой.

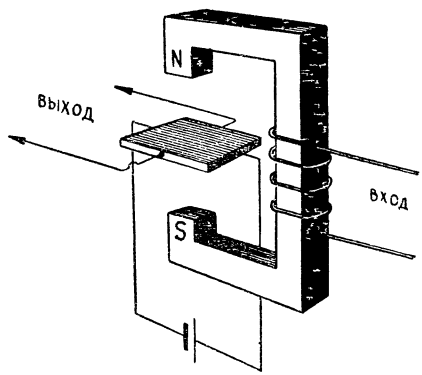
Представим себе теперь, что мы подвели электрическое напряжение к кубику из токопроводящего материала,

например к его верхней и нижней граням. Под воздействием электрического поля свободные заряды в этом материале начнут двигаться внутри кубика от его верхней грани к нижней или наоборот, что зависит от направления поля и знака зарядов. Движение зарядов будет равномерным по всей толще материала, поэтому ни на одной из его остальных (боковых) граней не возникнет напряжения относительно другой грани.

Но мы знаем, что если заряды движутся в магнитном поле, то они смещаются в одну сторону. Поэтому, поместив наш кубик в магнитное поле, мы вправе ожидать, что заряды, образующие ток, будут смещаться в одну сторону. У одной грани, куда заряды будут «сдуваться», их окажется больше, чем у противоположной. А если количество зарядов у граней неодинаково, то между ними должно возникнуть электрическое напряжение.

Американский ученый Э. Холл установил в 1881 г., что такое напряжение действительно возникает. Он помещал проводящий материал в магнитное поле и подводил к нему напряжение. На боковых поверхностях материала в соответствии со сказанным выше возникало напряжение. Это явление было названо эффектом Холла.

Исследование эффекта Холла выявило возможность использования его для усиления. Оказалось, что величина напряжения, возникающего на боковых гранях проводящего тела, которое можно для краткости назвать «напряжением Холла», находится в чрезвычайно большой зависимости от величины магнитного поля. Малейшие изменения магнитного поля вызывают большие изменения напряжения Холла и тока в цепи, замкнутой на это напряжение.




На рисунке изображено усилительное устройство, действие которого основано на использовании эффекта Холла. Кубик или прямоугольная пластинка проводящего материала помещается в поле магнита с обмоткой. К этой обмотке

подводятся электрические колебания, которые надо усилить. К двум граням в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля, подводится вспомогательное напряжение, создающее ток внутри материала. С двух противоположных граней снимается напряжение Холла, являющееся выходным. Очень малые изменения тока во входной обмотке вызовут гораздо бóльшие изменения напряжения Холла. В результате электрические колебания будут усилены.

В качестве «рабочего тела», т. е. токопроводящего материала, в усилителях этого рода применяют полупроводники с высокой подвижностью зарядов, например индий — сурьма или индий — мышьяк.

Усилители, построенные на этом принципе, чрезвычайно чувствительны к изменению магнитного поля и, в частности, к перемещению магнитных масс. При их помощи можно обнаружить перемещение магнитных масс на величину порядка $10^{-8}$ *см*.

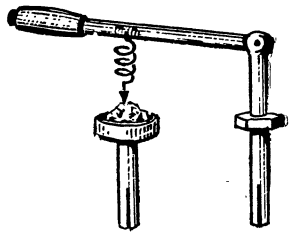
Энергия, за счет которой происходит усиление, черпается в таких усилителях из источника питания, поддерживающего ток в проводнике. Принципиально подобные усилители весьма просты, не содержат изнашивающихся частей, начинают работать сразу после включения.

Эти качества делают применение их и совершенствование весьма перспективными.

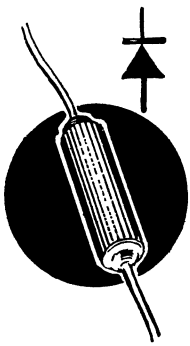
---

Ни что не ново под луной! Эту известную старинную поговорку теперь часто перефразируют, утверждая, что вообще нет ничего нового, а есть только хорошо забытое старое.

Знакомясь с историей техники, можно найти много подтверждений этого. Взять, например, кристаллический детектор. Такой детектор широко применялся на заре радиотехники, но был вытеснен электронной лампой, у которой оказалось много преимуществ. Они известны всем радиолюбителям, и нет смысла повторять их.



Однако радиотехники не успели еще как следует забыть кристаллический детектор, как он снова появился в радиоприемниках в том виде, в каком он нам теперь известен под названием полупроводникового диода. Он не только освободился от всех своих прежних недостатков, но во многих отношениях оказался лучше лампы. О том, как успешно кристалл конкурирует в наши дни с электронной лампой, рассказывалось на стр. 198. Подобного рода возвращение к старому объясняется развитием науки, глубоким проникновением в физику происходящих процессов, открытием новых свойств и особенностей. В результате, например, были созданы не только хорошие детекторы, но и усилительные приборы — транзисторы, пользуясь которыми можно решать удивительные задачи, казавшиеся ранее неразрешимыми.



Подобный же пример можно найти и в использовании для связи света. Первые попытки в этом отношении теряются где-то во мгле веков. Зажженный костер сигнализировал о наступлении ожидаемого события. По цепочке костров сообщение могло быть передано на большое расстояние.

Но неудобства такого средства связи очевидны. Перекрываемая им дальность мала, пользоваться им можно только в темные часы суток. Применение цепочки костров увеличивало дальность, но одновременно заметно замедляло передачу. Сигнал мог иметь лишь одно, заранее условленное значение: допустим, зажигание костра означало приближение врага. Передача произвольных сообщений была невозможна.

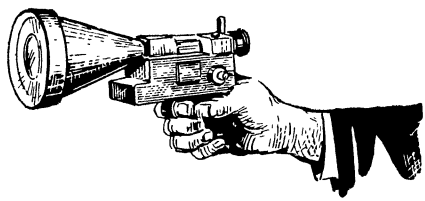
Развитие осветительной техники позволило внести в световую связь много нового и заметно улучшить ее. Появились сильные фонари с рефлекторами, дававшие направленный луч света, который можно было прерывать. Это привело прежде всего к увеличению дальности передачи и секретности ее, а вводя ту или иную форму перерывов светового луча, можно было передавать сообщения неоговоренного заранее значения. Одной из таких систем была, например, азбука Морзе. Но и эти усовершенствования световой связи не устранили ее коренные недостатки: малую дальность, зависящую, помимо всего другого, от погоды, пригодность только для темных часов суток, слишком неудовлетворительную скорость передачи и пр.

Новое «рождение» световой связи произошло после развития радиотехники. Одним из этапов этого развития было создание радиотелефона и совершенствование всей нужной для него аппаратуры. У радиосвязи много замечательных достоинств, но и она не свободна от некоторых недостатков. Например, радиосвязь можно подслушать. При тех волнах, которые фактически применяются, нельзя сконструировать антенную систему, посылающую очень узкий луч. Поэтому перехват радиосообщений вполне возможен. Кроме того, довольно легко создать помехи, затрудняющие адресату прием радиопередачи.

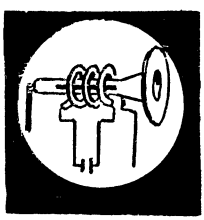
Это обстоятельство заставило снова вспомнить о световом луче. Усовершенствованная светотехника дала возможность сконструировать очень сильные и остро направленные источники света, а накопленный опыт позволил промодулировать световой луч и использовать его для телефонной передачи. Больше того, вместо лучей видимого света при-

менили инфракрасные лучи, которые наш глаз не воспринимает и не может поэтому обнаружить. Инфракрасная

направленная телефонная аппаратура во многих случаях оказалась весьма удобной, однако круг применений ее ограничивал малый радиус действия. Посылка световых лучей, а тем более инфракрасных, на большое расстояние не удается.

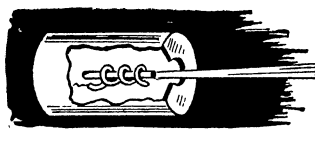


Так обстояло дело примерно к концу второй мировой войны. Последующие годы, как мы знаем, характеризовались чрезвычайным расцветом науки и, в частности, глубоким изучением строения вещества, свойств и особенностей элементарных частиц. На этой основе удалось создать источники света небывалой мощности, сконцентрированной в тончайшем луче. Даваемый ими свет в миллионы раз ярче солнечного. Связь посредством световых приборов этого рода по дальности не только не уступает радиосвязи, но, по-видимому, превосходит ее, в тех случаях, разумеется, когда и передающая и приемная станции находятся в зоне взаимной видимости. Весьма вероятно, что дальняя космическая связь



в будущем станет осуществляться именно подобной аппаратурой, с которой читатель познакомится в следующем очерке.

---



## Кристалл стреляет светом

Последние строки очерка «Два окна прозрачности» (стр. 126), возможно, удивили многих читателей. Там сказано, что для связи с космическими кораблями и другими планетами будут пользоваться и радио.

— А что же еще можно использовать для этой цели? — спросит читатель. — Ведь радио, как будто, является единственным способом связи на большом расстоянии без проводов.

Это верно, что до сих пор связь с искусственными спутниками и космическими кораблями поддерживалась лишь при помощи радио. Но не менее верно и то, что эти по существу первые опыты космической радиосвязи выявили ряд отрицательных ее сторон. Одной из них можно считать недостаточную дальность. Конечно, по нашим земным масштабам эта дальность огромна. Десятки и сотни тысяч километров, даже миллионы километров преодолеваются довольно легко. Но когда расстояние начинает исчисляться десятками миллионов километров, переваливает за сотню миллионов километров, связь чрезвычайно затрудняется, она перестает быть надежной. Это показали запуски ракет в сторону Луны, Марса и Венеры. Радио обеспечивает вполне уверенную связь с искусственными спутниками Земли и космическими кораблями или станциями на «лунных» расстояниях. Но преодоление расстояния до ближайших, а тем паче до удаленных планет нашей Солнечной системы уже представляет значительные трудности. Прием сигналов в столь большом удалении от передатчика труден на всех радиодиапазонах. Приходящие с такого расстояния сигналы очень слабы и покрываются помехами. Сильные помехи (шумы) создает сам радиоприемник — его лампы и

детали. Устранить их нельзя, так как возникновение их определяется самой структурой материала. Об этом говорится на стр. 240. Кое-какие способы преодоления помех существуют. Например, можно применить способ «накопления» сигнала, но при этом передача чрезвычайно замедляется. (Способ состоит в замедлении передачи и приема сигналов, причем происходит сложение напряжений. Так как сигнал повторяется на одной и той же частоте, а частота помех хаотична, в результате сигнал выделяется из помех.) Подробнее см. стр. 262.

Однако изыскания, проделанные в последние 5—6 лет, показали, что для связи на космических расстояниях, вероятно, можно будет использовать свет. Свет, т. е. электромагнитные колебания видимого нашим глазом диапазона (примерно от 0,4 до 0,7 микрона), проходит сквозь имеющееся в атмосфере Земли «окно прозрачности» (стр. 123). Поэтому свет принципиально пригоден для связи с внеземными адресатами. Трудность использования света заключается лишь в подборе пригодного для этой цели очень мощного источника света, излучение которого можно было бы сконцентрировать в очень тонком луче.

Подобный источник света теперь создан.

Знакомясь с молекулярными и парамагнитными усилителями, читатель узнал, что атомы могут переходить из обычного устойчивого состояния в неустойчивое «возбужденное» состояние. Для такого перехода в атом должно быть введено определенное количество энергии, которое в нем сохраняется до обратного перехода в устойчивое состояние и при таком переходе излучается в виде электромагнитной волны (кванта электромагнитного излучения) совершенно определенной для данного вещества частоты.

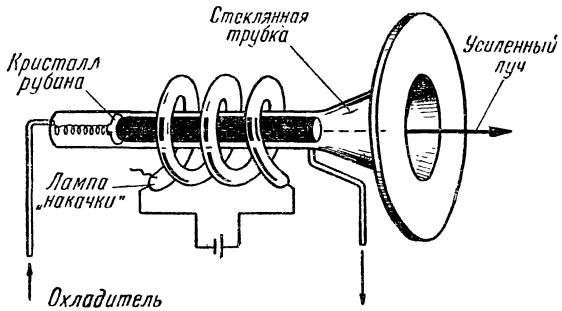
Таким же свойством обладают и атомы кристаллов.

В большинстве случаев атомы могут находиться в возбужденном состоянии лишь крайне малый промежуток времени, составляющий примерно одну стомиллионную долю секунды. Но некоторые кристаллы обладают способностью на сравнительно долгое время запасать сообщенную им энергию и при определенном воздействии на них сразу отдавать ее. Накопленная в течение какого-то промежутка времени энергия отдается мгновенно, поэтому мощность излучения может быть очень велика.

Среди кристаллов этого типа есть такие, которые накапливают свет, т. е. приводятся в возбужденное состояние

путем облучения светом, и отдают такие же световые лучи, когда для этого создаются нужные условия (см. стр. 218). Другими словами, они возбуждаются фотонами определенной энергии и отдают такие же фотоны. К числу подобных кристаллов принадлежат, например, рубин, берилл и др. Кристаллы рубина отдают излучение с частотой 430 терагерц, что соответствует волне 0,7 микрона, находящейся в области красного цвета у самой нижней границы видимых световых лучей. Кристаллы фтористого кальция, включающие атомы урана, излучают на волне 2,5 микрона (120 терагерц), т. е. в области инфракрасных лучей.

Заметим кстати, что подобные устройства получили название квантовых генераторов, или лазеров. Слово лазер составлено из первых букв его полного английского названия: Light amplification by stimulated emission of radiation, что в переводе примерно означает: усиление света посредством стимулированного излучения. Кроме названия «лазер», в литературе встречаются: «мазер», где буква «м» является первой буквой слова microwave — микроволновый, и «иразер», где «и» и «р» суть первые буквы слов infra-red — инфракрасный. Мазером называют лазер, излучающий волны миллиметрового и сантиметрового диапазонов, а иразером — инфракрасные лучи.




Общая схема такого устройства, «стреляющего светом», относительно проста. Основой лазера служит кристалл цилиндрической формы, плоскости торцов которого строго параллельны и тщательнейшим образом отполированы. Оба торца покрываются зеркальным отражающим слоем. В середине одного из этих слоев по оси цилиндра проделывается отверстие, через которое и происходит «выстрел»

пучком света. Отражающий слой обычно осуществляется серебрением торцов.

Строгая параллельность торцов кристалла нужна для того, чтобы излучаемые атомами фотоны не вылетали после отражения во внешнее пространство там, где им не положено. При параллельности торцов они отражаются от торца к торцу, пока не попадут в выходное отверстие. Серебрение способствует лучшему отражению. Длина кристалла должна быть кратной длине волны генерируемого светового пучка; обычно она составляет несколько сантиметров. Для примера можно указать, что в одной из конструкций рубинового лазера длина кристалла 7 *см*, а диаметр 3 *см*. Рубины применяются искусственные.

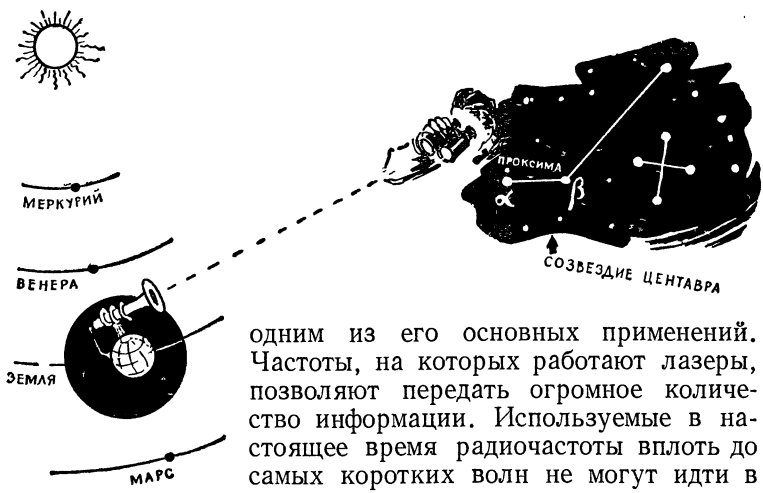
Кристалл лазера облучается («заряжается») мощной ртутной лампой. Такую лампу часто называют лампой накачки, потому что она как бы «накачивает» энергию в кристалл.

В кристалле рубина приходят в возбужденное состояние ионизированные атомы хрома. Применяемый в лазерах синтетический рубин представляет собой окись алюминия с примесью трижды ионизированных атомов хрома в количестве 0,1%. Когда более половины атомов хрома перейдут в возбужденное состояние, они мгновенно «разряжаются», излучая через оставленное в слое серебрения окошко луч красного света огромной интенсивности.

Направленность луча исключительно велика; кроме того, она увеличивается оптическими средствами. Расходимость луча менее одной сотой градуса. Если столь остро направленный луч послать с Земли на Луну, то диаметр освещенного круга на ее поверхности будет всего около 16 *км*. Для того чтобы осуществить подобную направленность при излучении радиоволн длиной, например, только 3 *см*, пришлось бы применить параболическую антенну диаметром около 3 *км*, что практически выполнить невозможно.

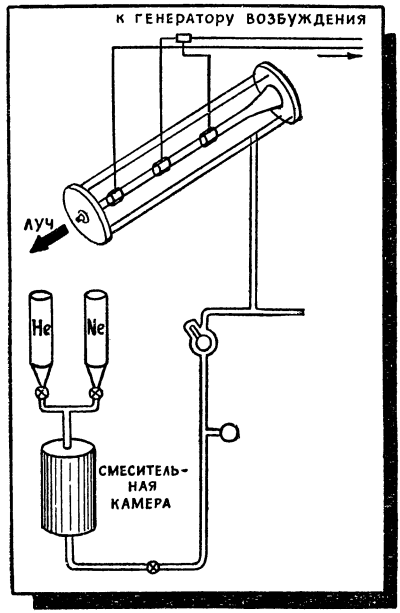
В 1963 г. были изготовлены лазеры мощностью 10 *квт*. В луче света такого лазера развивается удельное давление до 300 атмосфер. Излучение лазера можно сфокусировать, причем в зоне действия сфокусированного луча будет исключительно сильный нагрев. Например, луч лазера нетрудно сфокусировать так, что сечение его будет всего 0,1 *мм* в диаметре; площадь кружка такого диаметра будет 0,01 *мм*$^2$. Плотность энергии в луче при этом будет составлять до 11 млн. *вт/см*$^2$. Вспышка излучения весьма коротка, но

она все же производит нагрев до 7 000—8 000° С. При такой температуре испаряются все вещества. Поэтому лучом лазера можно прожигать отверстия в любом самом тугоплавком металле и, между прочим, в алмазах. Можно сфокусировать еще более тонкий луч, почти «микронной» толщины. Такой луч нельзя сравнить с иглой: он тоньше иглы примерно во столько же раз, во сколько игла тоньше бревна. Лазеры могут быть использованы для радиолокации (может быть, надо сказать светолокации?). Луч лазера может быть любым способом промодулирован и, следовательно, использован для телефонной передачи. В литературе можно найти упоминания о десятках разнообразных применений лазеров вплоть до медицинских целей. Но связь, несомненно, будет

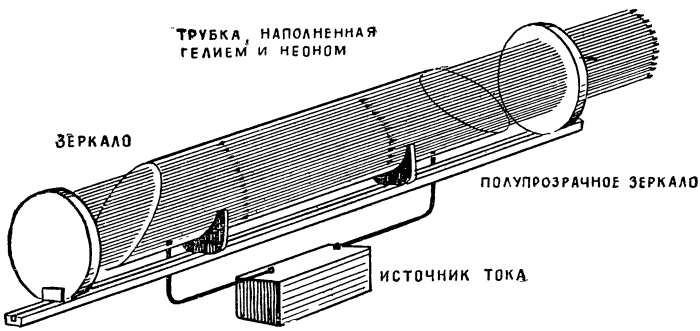



одним из его основных применений. Частоты, на которых работают лазеры, позволяют передать огромное количество информации. Используемые в настоящее время радиочастоты вплоть до самых коротких волн не могут идти в этом отношении ни в какое сравнение с частотами световых волн. Например, полоса излучения рубинового лазера составляет 100 *Мгц*. Умопомрачительные перспективы открывает лазер в увеличении дальности передач. Сфокусированный луч лазера современного типа, по существу первоначального, совсем не совершенного типа, может быть виден простым глазом на расстоянии 9 триллионов ($9 \cdot 10^{12}$) *км*. Это расстояние равно так называемому световому году. В пределах этого расстояния находятся от нас все планеты нашей Солнечной системы. Подчеркнем еще раз, что на таком расстоянии свет лазера можно увидеть простым, невооружен-

ным глазом. С применением оптических средств это расстояние можно увеличить во много раз. В бинокль его нетрудно разглядеть с ближайшей к нам звезды — Проксима Центавра (около 4,2 светового года).

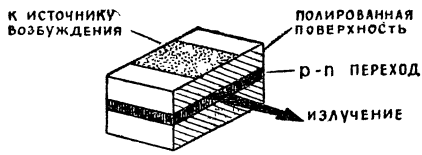



Основой первых построенных лазеров были кристаллы синтетического рубина. Доказана пригодность для устройства лазеров ряда других кристаллов. Кроме уже упомянутого берилла, можно назвать сапфир, флюорит кальция и др. Но для этой цели могут быть использованы и газы. Известны конструкции газовых лазеров. В качестве «рабочего газа» в них применяется смесь благородных газов, таких, как гелий, аргон, неон. Например, в одной из экспериментальных конструкций была применена смесь гелия под давлением 1 *мм* и неона под давлением 0,2 *мм*. В газовую смесь вводится энергия радиочастотного генератора. В гелии возникает газовый разряд. Возбужденные атомы



гелия сталкиваются с атомами неона и возбуждают их, отдавая им излишек энергии и переходя в нормальное состояние. Затем следует вынужденное излучение квантов света атомами неона, рождающее мощный световой луч. Смесь газов заключена в цилиндрическую трубку с параллельными торцами, покрытыми зеркальным слоем, так как конструкция газовых лазеров в основных чертах похожа на конструкцию кристаллических лазеров.

Известны экспериментальные образцы жидкостных лазеров, а в последнее время у нас разработаны лазеры полупроводниковые. Рабочим «телом» такого лазера служит обычно кубик, выпиленный из полупроводникового монокристалла. Для этой цели пригодны многие полупроводниковые материалы, в том числе кремний с примесью индия, арсенид галия, фосфид галия и др. Кристалл делится пополам $p$ — $n$ -переходом. Пропусканием через прибор тока достигается концентрация в одной его половине дырок, а в другой электронов. При подведении к контактным пластинам напряжения электроны и дырки начинают перемещаться навстречу друг другу. Они встречаются в переходном слое и рекомбинируются. Этот процесс сопровождается испусканием кванта света, вернее невидимых глазом инфракрасных лучей.




Плотность тока возбуждения должна быть велика (тысячи $a/см^2$). Такой ток вызывает сильное нагревание, поэтому кристалл охлаждается жидким азотом или гелием. Между прочим, в таком охлаждении нуждаются и лазеры других типов, например рубиновые. Полупроводниковые квантовые генераторы выгодно отличаются от других высоким к. п. д., который достигает у них 10% и более. У рубиновых он всего лишь около 1%. Полупроводниковые лазеры интересны еще и тем, что в них происходит непосредственное преобразование электрической энергии в световую, причем теоретически к. п. д. при этом может приблизиться к 100%.

Лазеры — совсем «молодые» приборы. Первые лазеры были сконструированы в 1959 г. Изготовление их исключительно трудно. Для иллюстрации можно привести два имею-

щихся в литературе примера. Чистота основного материала должна быть наивысшей, посторонние примеси допустимы в количестве не больше 1 атома на 100 млрд. «своих» атомов; параллельность торцов должна быть исключительно точной: допустимо расхождение не больше того, какое получится, если один конец несгибающейся 10-километровой стальной планки, приложенной к горизонтальной плоскости, приподнять на полсантиметра. К этому можно добавить, что полировка торцов также необходима идеальная.

«Шероховатость» может быть не больше немногих долей длины волны света, а эта длина имеет порядок 0,7—0,8 микрона. Если воспользоваться для сравнения опять бревном, то можно сказать, что это шероховатость в такой же степени меньше толщины человеческого волоса, в какой волос по толщине меньше бревна. Здесь, кстати, можно будет упомянуть, что изъяны полировки германиевых и кремниевых пластин для транзисторов тоже не могут превышать 0,05 микрона. Это примерно на один порядок больше, чем у лазера.

Как уже указывалось, яркость луча лазера исключительно велика: она в миллионы раз превосходит яркость солнечной поверхности. Глаз видит луч лазера на космических расстояниях, а на расстояниях земных он ослепляет. Интересно попутно отметить, что, как и всегда, техника моментально разрабатывает и защитные меры. Развитие артиллерии приводит к совершенствованию брони, а улучшение брони вынуждает повышать пробойную силу артиллерийских снарядов. Так и здесь. Уже появились сообщения о создании стекла, которое почти мгновенно уменьшает прозрачность под воздействием сильного света, причем чем ярче свет, тем менее прозрачным становится стекло. После воздействия света стекло снова мгновенно восстанавливает свою прозрачность. Быстрота реагирования стекла на освещение составляет несколько стотысячных долей секунды. Кстати сказать, очки с подобными стеклами были бы весьма полезны шоферам, защищая их от ослепления фарами встречных машин.

Лазеры положили начало новому разделу электроники — квантовой электронике. Это весьма многообещающий раздел, открывающий перед человеком новые возможности. Можно добавить, что лазеры уже испытывались для передачи музыки. Достигнуты отличные результаты.

# Первая вылазка лазера в КОСМОС

В конце 1963 г. советскими учеными был проведен интересный опыт. В фокусе 2,6-метрового телескопа Крымской астрофизической обсерватории сотрудниками Физического института имени Лебедева АН СССР был установлен экспериментальный лазер (полупроводниковый), посылавший мощные световые импульсы. Телескоп был наведен на Луну, на ее неосвещенную Солнцем зону. Лучи света, отраженные от небольшого участка этой зоны, улавливались другим телескопом. В его фокусе помещалось светочувствительное устройство с фотоумножителем.

Прием отраженных от Луны сигналов удался, хотя и был труден. Интенсивность возвращавшегося от Луны отраженного сигнала была в $10^{19}$ раз меньше сигнала, посылавшегося лазером. Для получения уверенных результатов опыты пришлось многократно повторить.

Проделанный эксперимент был по существу световой локацией Луны. Посредством такой локации можно определить расстояние до различных частей лунной поверхности с точностью, по крайней мере в 100 раз большей, нежели любым из других осуществимых способов. Этим практически доказана пригодность лазера для космических применений. Несомненно, что диаметр «пятна», освещаемого лазером на поверхности космического тела, можно будет уменьшить и этим еще повысить точность измерений.

Концентрация энергии в тонко сфокусированном луче лазера огромна. Уже теперь лазеры, по сути дела являющиеся первыми опытными образцами, прожигают стальные пластинки на расстоянии 10 *м*. Нет сомнения в том, что мощность квантовых генераторов — лазеров будет повышена в миллионы раз и их могущественные лучи, возможно, позволят осуществить то, о чем наука и техника пока лишь мечтают. Речь идет о передаче энергии на расстояние без проводов, на первые случаи, разумеется, лишь тогда, когда это действительно необходимо, например в труднодоступных районах Арктики, в пустынях и горах, а также на искусственные спутники. Космические корабли могут брать

с собой ограниченное количество горючего, и можно сказать, что для набора скорости и для маневров они должны сжигать часть самих себя. Передача энергии лучом лазера может дать возможность космическому кораблю возобновлять запасы энергии на борту.

Если дать волю фантазии, что, вероятно, допустимо в книге занимательного жанра, то можно представить себе лазеры и как средство пополнения энергии на космическом корабле, и как его двигатели. Ведь фотонной ракете сулят огромное будущее, а лазер — готовый фотонный двигатель. Он отбрасывает в одну сторону мощный пучок фотонов. Космический корабль может пользоваться фотонным двигателем, получая энергию для него отчасти по лучу с Земли, а отчасти, может быть, из окружающего космического пространства в виде света, космических лучей и пр. Такой корабль сможет двигаться и маневрировать, не сжигая самого себя, а пользуясь энергией, получаемой извне. Ведь не будем забывать того, что полупроводниковые лазеры имеют к. п. д., близкий к 100%, а это очень и очень важно.

Во всяком случае нет сомнения, что лазеры и вообще квантовые генераторы найдут самое разнообразное применение, которое во многих областях произведет подлинную техническую революцию.

---

Постоянный недоуменный вопрос: почему удивительные свойства полупроводников обнаружены только недавно, а раньше их не замечали?

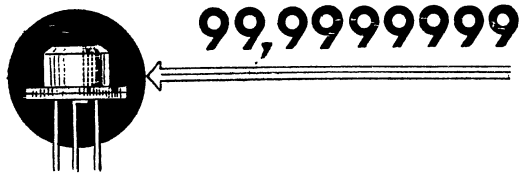
Ответ на этот вопрос и содержится в заголовке.

Что такое «ОЧ»? Это первые буквы слов «Особо Чистый». Многие свойства материалов обнаруживаются лишь тогда, когда они очень чисты, т. е. лишены посторонних примесей. Ранг «ОЧ» присваивается веществам, доведенным до исключительно высокой очистки, наибольшей достижимой современными средствами.

Выражение «девять девяток» характеризует в цифрах высокую степень очистки. Если число девяток от четырех до пяти, то вещество считается химически чистым. В 100 *г* такого химически чистого вещества его будет фактически от 99,99 (четыре девятки) до 99,999 (пять девяток) *г*, а примеси окажется соответственно 0,01 или 0,001 *г*. Иначе говоря, содержание примеси от одной десятитысячной до одной стотысячной процента. Техники в таких случаях предпочитают указывать не проценты, а число девяток. Четыре или пять девяток — это такая чистота, которая обычно почитается всеми как высокое достижение техники (еще бы: химически чистое вещество!), но люди передовой техники такую очистку ни во что не ставят, считая, что это — сплошная грязь. В литературе по этому поводу приводится такой интересный пример. Мы привыкли оценивать дистиллированную воду как образец химически чистого материала. Но работники радиоэлектроники относятся к ней иначе. Если в бочку подготовленной для их нужд воды, т. е. воды категории «ОЧ», капнуть одну каплю дистиллированной воды, то вода в бочке уже не будет пригодна, она окажется слишком загрязненной. Можно сказать, что капля дегтя делает бочку меда совсем негодной.

Если увеличивать очистку материала далее пяти девяток, то для оценки степени очистки химические способы уже могут оказаться непригодными. Придется воспользоваться спектральным анализом. Он может определить чистоту до шести девяток, т. е. до 99,9999. При такой очистке примеси окажется не более 0,0001 части: на каждые 10 000 атомов вещества придется не более 1 атома примеси.

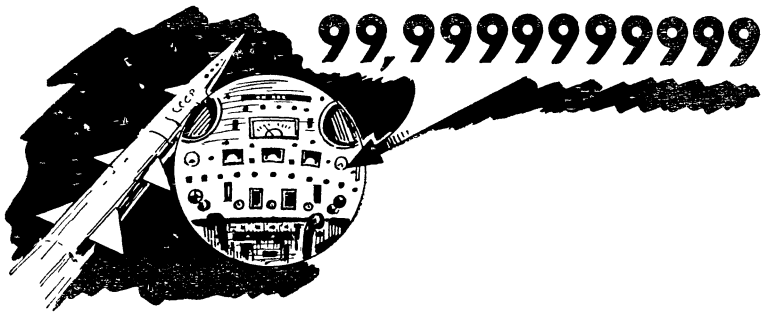
Однако и такая «спектральная чистота» науке и технике сегодняшнего дня не всегда представляется удовлетвори-




тельной. В частности, для полупроводниковых и некоторых других приборов нужна более, даже значительно более высокая степень очистки, нужны эти самые девять девяток: 99,9999999. При такой очистке в материале останется лишь

одна десятимиллионная (0,0000001) часть примеси. На 10 млн. «своих» атомов будет не более 1 «чужого» атома.

Но как ни впечатляют подобные цифры, надо все же отметить, что очистка категории девять девяток не представляет собой предела требований радиоэлектроники. Если это и предел, то скорее низший, которым начинается категория «ОЧ» и с которым часто можно примириться. Но уже в разных случаях требуются вещества более высокой очистки. Например, в приборах управления космическим кораблем есть приборы с кремнием. Необходимая в данном




случае высокая надежность работы этих приборов может быть обеспечена лишь тогда, когда количество примесей в кремний не превышает одной десятимиллиардной части (чистота 12 девяток). А кое-когда уже требуется чистота 13 девяток, т. е. считается допустимым наличие 1 атома примеси на 100 млрд. атомов основного вещества.

Каким примером можно подчеркнуть всю ничтожную малость этой величины? Вот большой современный восьмиэтажный дом. Чтобы сложить его, нужно примерно 7,5 млн. кирпичей (теперь здания чаще собираются из бетонных блоков, но мы на минуту забудем об этом). Если взять 100 млрд. красных кирпичей и 1 белый кирпич, то из них можно построить 13 тыс. таких домов — целый большой город. И где-то в одной из стен какого-то из домов этого города будет 1 белый кирпич. Это и есть чистота 13 девяток.

Как же можно определить такое исчезающе малое количество примеси, если даже блестящее достижение физики — спектральный анализ — здесь бессильно?

Наука разработала несколько способов, при помощи которых можно уловить столь ничтожный процент примеси.

Сюда относится, например, способ масс-спектрометрии: разделение атомов по их массе. Как известно, масс-спектрометры широко используются для изучения элементарных частиц и, в частности, для выделения изотопов. Применяются также люминесцентный анализ и некоторые другие способы.

При очистке материалов категории «ОЧ» и работе с ними приходится соблюдать крайнюю осторожность. Например, материал нужно оберегать от пыли, которой в воздухе очень много. Естественно, что при таких степенях очистки, которые соответствуют длинному ряду девяток, те оценки отсутствия пыли и очистки от нее комнатного воздуха, которыми мы довольствуемся в быту, непригодны. Воздух наших комнат насыщен пылью. Стоит взглянуть на луч солнечного света, попавший в комнату через окно, как станут заметны сонмы пылинок, танцующих в воздухе. Собственно говоря, мы и видим луч света, потому что свет рассеивается пылинками. Мы видим не свет, а освещенные пылинки (а иногда и водяной пар). По этой самой причине мы видим и луч прожектора, и это указывает на то, что воздух даже на большой высоте содержит много пыли или влаги.

В помещениях, где ведется работа с материалами «ОЧ», воздух тоже должен быть очищен от пыли до степени «ОЧ». Это «ОЧ» в отношении воздуха характеризуется следующими цифрами: за 6 *ч* на площадку 10 $см^2$ из воздуха не должна осаждаться более чем одна пылинка размером не свыше 0,005 *мм*. Между тем в воздухе, который мы считаем чистым, содержится пыли по весу примерно около 3 *мг* на литр воздуха.

Может показаться, что очистить комнатный воздух от пыли очень просто: надо дать ей отстояться. Через несколько часов, ну, пусть, через день-два, она вся осядет и ее можно будет отсосать. На самом деле обеспыливание воздуха гораздо сложнее. Самоосаждение пыли — процесс очень медленный. Пылинка поперечником 1 микрон опускается на поверхность земли с высоты 1 *км*... 3—4 года. Это такое движение, которого мы не заметим. Посмотрите на часовую стрелку будильника; конец ее движется примерно с такой же скоростью, но нам он кажется неподвижным.

Поэтому очистка воздуха должна быть активной, а не пассивной — нельзя дожидаться, когда пыль осядет. Приходится принимать тщательные меры для предотвращения заноса пыли на одежде и обуви работающих. Обычно при-

меняют одежду из лавсана, наименее «ворсистого» из всех тканей, а на ноги надевают полиэтиленовые тапочки.

Из этого видно, какие трудности приходится преодолевать, какую высокую технику и культуру производства нужно обеспечить, чтобы получить такой высокой кондиции полупроводниковые материалы, обладающие столь чудесными свойствами. Не следует забывать и того, что мы коснулись здесь только последних этапов подготовки материалов. А добыча и очистка их тоже исключительно трудны. Поэтому о подобных материалах нельзя сказать, что они ценятся на вес золота, — они ценятся гораздо дороже.

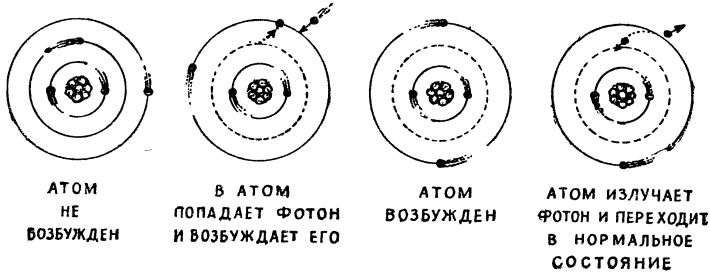
---

Развитие радиотехники идет по многим направлениям. Одним из них, очень важным, являются укорочение длины используемых радиоволн и борьба с шумами, препятствующими приему слабых сигналов. Это необходимо по многим причинам. Например, к этому вынуждает развитие радиолокации и астрономии. Обе эти новейшие отрасли радиоэлектроники для решения стоящих перед ними задач нуждаются в освоении все более коротких волн и вынуждены изыскивать способы приема очень слабых сигналов.

Укорочение длины рабочих волн неизбежно влекло за собой уменьшение колебательных контуров. Меньше становилось число витков катушек и их размеры, уменьшались конденсаторы. В конце концов одновитковая катушка слилась с конденсатором и образовала так называемый объемный резонатор. Но и этого скоро оказалось недостаточно. Длина волны нуждалась в дальнейшем укорочении.

На этом этапе пришлось расстаться с колебательными контурами как с какими-то конструкциями. Поиски замены привели к атому. Ведь атом тоже является своего рода колебательной системой. Как уже отмечалось (см. стр. 216), атом может поглотить только определенный квант

энергии в виде электромагнитных колебаний соответствующей частоты: энергия электромагнитных квантов, имеющих всегда одинаковую скорость (скорость света), зависит только от их частоты. Атом не может поглотить квант любой энергии. Природа атомов такова, что у них есть строго фиксированные «разрешенные» кванты, которые они могут поглотить, придя после этого в возбужденное состояние. Такой же квант атом излучит, когда состоится обратный переход его из возбужденного состояния в обычное. Если




воздействовать на атом квантом большей или меньшей энергии, чем атому «разрешена», то он не перейдет в возбужденное состояние. Это может привести только к его нагреву, т. е. к увеличению скорости его колебаний или движения.

Другими словами, атом данного вещества поглощает и излучает кванты одинаковой частоты, причем и для первого, и для второго на него надо воздействовать этой же самой частотой. Ни на какую другую частоту атом не отзовется, он всегда точно настроен на одну и ту же частоту.

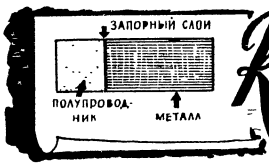
Обычные колебательные контуры служат источниками шумов. В них существует непрерывное хаотическое движение электронов — тепловое движение. В течение каждого сколько-нибудь длительного промежутка времени количество электронов, движущихся в любом направлении, всегда уравновешивается таким же количеством электронов, движущихся в противоположном направлении, поэтому электрическое действие их движения уравновешивается. Но в отдельные моменты равновесия может и не быть, и тогда на контуре возникнет напряжение, которое будет передано дальнейшим цепям устройства и усилено. Это хаотически возникающее и гаснущее напряжение воспринимается нами

как шум. Уменьшить мы его практически не можем. Поэтому при применении колебательных контуров обыкновенного типа шумы неизбежны. «Шумят» не только контуры, но и лампы, сопротивления и пр. Если уровень сигналов ниже уровня внутренних шумов, то прием чрезвычайно затруднен, а часто и совсем невозможен.

Атом, исполняющий обязанности колебательного контура, не шумит. Здесь отсутствуют те причины, которые создают шум ламп, контуров, сопротивлений. Это является огромным преимуществом атомной или, как ее теперь чаще всего называют, квантовой электроники. Квантовые генераторы и усилители всегда совершенно точно настроены на присущую им волну и не шумят.

Так колебательные системы радиоэлектронной аппаратуры проделали длинный путь развития от кольцевых вибраторов Герца до атома.

---




## Квантовая акустика

Непривычное и странное название! Что это за квантовая акустика? Мы знаем, что квант есть мельчайшая «порция» чего-то. Например, фотон есть квант света. Электрон можно назвать квантом электричества. Звук — это упругие колебания, распространяющиеся в твердой, жидкой или газообразной среде. Что же здесь квантуется?

В данном случае речь идет о среде. Акустика рассматривает — и делает это с полным основанием — среду, в которой распространяются инфразвуковые, звуковые и ультразвуковые колебания, как непрерывную. Но это можно было делать только до тех пор, пока длины волн ультразвуковых колебаний были заметно больше частиц вещества. Но в конце концов длина волны ультразвуковых колебаний достигла такого предела, когда зернистая структура вещества уже сказывается на распространении звуковых волн, в частности стала сказываться кристаллическая ионная решетка твердых тел. Здесь то и пришлось столкнуться

с новыми явлениями, которые и были выделены в особый раздел, получивший пока условное название квантовой акустики.

Большой трудностью, встречающейся при опытах с ультразвуками очень высоких частот, является получение их. Для генерирования ультразвуковых волн, как правило, пользуются пьезопреобразователями. Как известно, если к пьезоэлементу подвести электрические колебания какой-то частоты, то он начинает совершать механические колебания той же частоты. Наибольшей амплитуды колебания его достигают в том случае, когда подводимая частота совпадает с его собственной резонансной частотой. Для того чтобы пьезоэлемент (сама пластина пьезоэлемента) оказался настроенным в резонанс, надо, чтобы толщина его была равна половине длины волны колебаний.

Для генерирования ультразвуков обычно применяемых в технике частот — до нескольких мегагерц — нужны пластины толщиной порядка миллиметра. Такие пластины изготовить сравнительно легко. Но если перейти к частотам в тысячу раз бóльшим — к частотам в тысячи мегагерц, то толщина пластинки пьезоэлемента должна будет уже измеряться микронами, а слой ее металлизации — не больше чем сотыми долями микрона. Очевидно, что изготовить такой пьезоэлемент сколько-нибудь больших размеров просто невозможно, а от маленького пьезоэлемента не получишь большую мощность. Поэтому в силу необходимости приходится применять более толстые, чем нужно, нерезонансные пластины, а при этом излучение значительно уменьшается, к. п. д. генератора получается очень малым.

Как это уже не раз бывало и раньше, выход был найден в применении полупроводниковых генераторов. Если полупроводниковую пластину приложить к металлической поверхности, то на границе стыка между полупроводником и металлом возникнет запорный слой. Подбирая подводимое напряжение, можно изменять толщину этого слоя, причем не составляет трудности добиться того, чтобы он был микронной толщины. Полупроводник должен обладать пьезоэффектом. Такие полупроводники существуют, например: сернистый кадмий, мышьяковистый галлий.

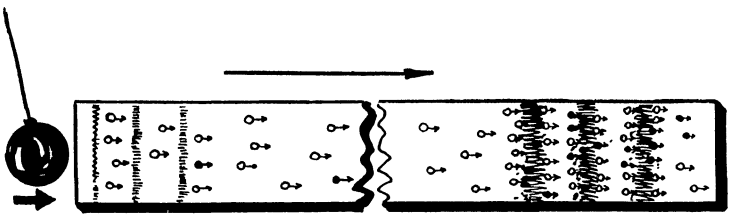
Полученный таким образом запорный слой можно рассматривать как пьезоэлемент. Достаточно подвести к нему переменное напряжение нужной частоты, как он начнет колебаться. Изменяя постоянное напряжение на запорном

слое, можно увеличивать и уменьшать его толщину (см. стр. 199), подбирая такую, какая требуется в данном случае.

Таково обычное устройство генератора сверхвысоких ультразвуков.

Ведутся эксперименты с квантово-акустическими усилителями, принцип действия которых отдаленно напоминает механизм усиления лампы бегущей волны. Основой усилителя служит кристалл полупроводникового материала, обладающего пьезосвойствами и внутренним фотоэффектом. К таким веществам принадлежит, например, сернистый кадмий, идущий на изготовление фотосопротивлений. Если подобный материал не освещен, то в нем почти нет свободных электронов и сопротивление его весьма велико. При освещении в нем образуются свободные электроны.

Если стерженек, изготовленный из такого материала, ярко осветить, то в нем появятся электроны проводимости. При подведении к торцам стерженька постоянного напряжения начнется движение электронов в соответствии с по-



лярностью приложенного напряжения. Ударим теперь чем-нибудь по одному из торцов — по тому, к которому подведен минус. Вследствие упругости материала по стерженьку побежит упругая волна со скоростью, равной скорости распространения звука в этом материале. Эта волна представляет собой чередующиеся области сжатия и разрежения. У этого материала есть, как мы знаем, пьезоэффект; сжатие и расширение его сопровождаются возникновением электрического поля. Вместе с движением по стерженьку упругой волны, вызванной ударом, будет двигаться и поле.

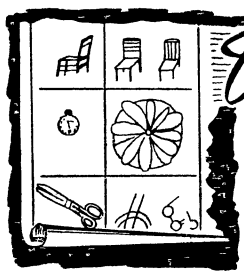
Движение поля по стерженьку совпадает по направлению с движением электронов под воздействием приложенного к стерженьку постоянного напряжения. Подбирая величину этого напряжения, мы можем сделать скорость движения электронов немного большей, нежели скорость перемещения упругой волны. При этом электроны будут

как бы тащить за собой эту волну. Увеличить ее скорость они не могут (она определяется скоростью распространения звука в данном материале). Поэтому взаимодействие между полем и электронами приведет к увеличению амплитуды волны, т. е. к ее усилению.

Вместо удара по стерженьку, о котором мы для упрощения говорили, можно подвести к нему ультразвуковые импульсы, которые будут усилены. Опыты показали, что усиление может быть очень большим; например, на протяжении всего 12 *мм* длины стерженька усиление получалось до нескольких десятков тысяч раз.

Квантовая акустика — нарождающийся раздел радиоэлектроники, имеющий по всем данным огромные перспективы. Эти перспективы раскрываются совместными усилиями радиоэлектроники и физики твердого тела.

---



## Биологическая РАДИОСВЯЗЬ

Сочетание слов, стоящих в заголовке, ново и несколько странно. Что это еще за новый вид связи?

Но тем не менее такое сочетание слов уже встречается в литературе. Оно охватывает ряд явлений, известных и ранее, но настоящее изучение которых по существу только что начато. То, что происходит теперь, можно с наибольшим правом назвать лишь предварительным накапливанием фактов и первыми прикидками их объяснения. Будущее покажет, к какому классу относятся наблюденные явления и какова их физическая основа. Во всяком случае нельзя исключить возможность того, что эти основы окажутся так или иначе близкими к радиотехнике, поэтому упоминание о том, что условно названо биологической радиосвязью, в книге данного жанра оправдано.

Начать хочется с бабочек.

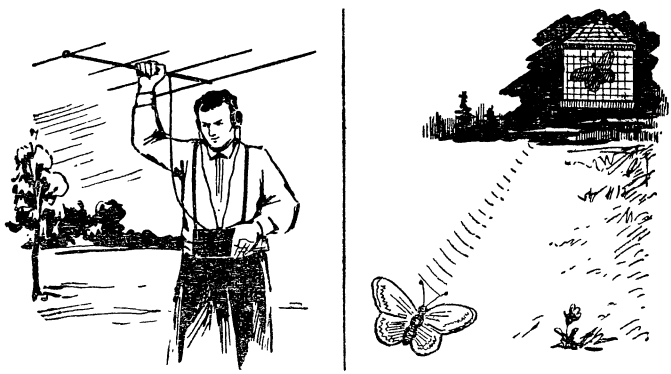
Наш советский энтомолог И. А. Фабри в течение нескольких лет изучал особенности жизни ночной бабочки

одного из видов, встречающегося у нас довольно редко. Его заинтересовал способ, при помощи которого самцы бабочек этого вида находят самок. Малочисленность этих бабочек облегчала опыты, так как давала возможность следить за определенными парами.

И. А. Фабри помещал самку в клетку, а самцов, меченных краской, относил на большое расстояние. Несмотря на это, они быстро прилетали обратно к самке. В опытах Фабри расстояние доходило до 8 *км*, причем учитывалось направление ветра. Самцов бабочек относили в ту сторону, откуда дул ветер, поэтому возможность использования органов обоняния исключалась, а об использовании органов слуха не могло быть и речи, так как в условиях опыта на таком расстоянии не была слышна даже ружейная стрельба.

Но при всем том бабочки моментально находили нужное направление и летали по пути, близкому к прямому. Это было легко установить, зная расстояние и скорость полета бабочек данного вида (расстояние 8 *км* они преодолевали примерно за 45 *мин*).

Самым интересным в опытах И. А. Фабри было то, что он установил решающее значение усиков бабочки. Если у самца бабочки отрезать усики-антенны, то он оказывается лишенным способности находить дорогу к самке.



Отсюда с неоспоримостью вытекало, что самка бабочки посылает какие-то призывные сигналы, которые самцы воспринимают своими усиками-антеннами. Физическую природу этих сигналов пока установить не удалось, но весьма

вероятно, что это электромагнитные колебания, во всяком случае никакие другие способы передачи сигналов в подобных условиях нам неизвестны.

Опыты с бабочками не единичны. Известны и другие примеры передачи сигналов насекомыми при обстоятельствах, при которых наиболее вероятным физическим агентом — переносчиком сигналов — являются электромагнитные колебания. На этом основании связь подобного рода пока условно и называют биологической радиосвязью. Поскольку возбудителями предполагаемых электромагнитных волн служат биологические объекты, естественно назвать подобную радиосвязь биологической.

Исследования в области биологической радиосвязи не ограничиваются низшими формами животного мира. Предметом широких исследований в этом отношении стал и сам человек.

Очень многим приходилось сталкиваться с удивительными случаями «передачи мыслей». Чаще всего это проявляется в том, что людям, состоящим в близком родстве или хорошо знающим друг друга, одновременно вспоминаются одни и те же лица или факты, «приходят в голову» одни и те же мотивы и пр. Сюда относятся и «встречные письма»: два человека долгое время собираются написать один другому, но никак не могут собраться осуществить свое намерение. Когда же они, наконец, сделают это, то оказывается, что написали они одновременно и письма их «разошлись».

Возможность какого-то подобия передачи мыслей на расстояние, возможность того, что условно называют биологической радиосвязью, подтверждается и специально поставленными опытами.

25 июля 1959 г. подводная лодка «Наутилус», входившая в состав флота США, приняла на борт пассажира и вышла в океан. Она крейсировала в океанских глубинах 15 суток, и все это время пассажир оставался в своей каюте, не покидая ее ни на минуту. Дважды в день он молча передавал приходившему к нему капитану листок бумаги, который тут же вкладывался в конверт и опечатывался. На конверте проставлялись дата и гриф «Сверхсекретно».

10 августа подводная лодка ошвартовалась у берега. Пассажир «Наутилуса» и конверты были на самолете доставлены в город. В кабинете директора Отдела биологических наук при Управлении исследований воздушных сил конверты были вскрыты и заключенные в них листки сличены

с листками, хранившимися в сейфе. На всех листках были изображены простые рисунки. Сопоставление листков с одинаковыми датами показало совпадение рисунков более чем в 70% всех случаев.

Это было трудно объяснить чем-нибудь другим, кроме передачи мыслей. Опыт был поставлен так. На берегу один человек под строгим контролем и в обстановке, исключавшей возможность обмана, в определенное время суток фиксировал свои мысли на данном ему рисунке. Рисунок этот предлагался ему комиссией ученых. Выбор рисунка осуществлялся машиной, гарантировавшей полную случайность выбора.

Следует добавить, что расстояние, на которое уходила подводная лодка, достигало 2 000 *км*, и опыты проводились и тогда, когда она была на значительной глубине.

С тех пор в различных странах, в том числе и у нас, было проделано много подобных испытаний в самой различной обстановке. Опыты, поставленные со всей тщательностью и изобретательностью, на какую способны современные ученые, давали постоянно в среднем одно и то же количество совпадений — около 70%.

Многие процессы, происходящие в нашем организме, в частности в мозгу и нервной системе, в какой-то степени являются электрическими. Это уже доказано. Поэтому не будет особенно удивительным, если какая-то сторона жизнедеятельности окажется связанной и с электромагнитными процессами. Исследования в этой области очень трудны, необходимо накопление возможно большего количества наблюдений, как можно больше исходного материала.

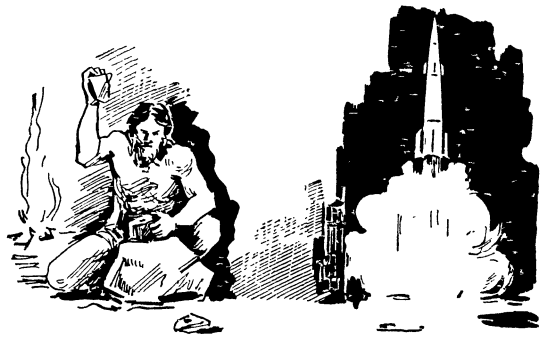
---

История техники насчитывает уже сотни тысяч лет. По существу техника ведет свое начало с тех пор, когда наш далекий прапредок, взяв в свои сильные, но неумелые

руки палку или камень, начал пользоваться ими и обрабатывать их, приноравливая к своим требованиям.

Вереницей шли века. Одни поколения сменяли другие. Руки человека, может быть, и слабели, но зато становились все более умелыми, они делали все более удивительные вещи. Человек подчинил себе огонь. По воде заскользили лодки, потом они увеличились и оделись парусами, еще увеличились и задымили трубами. По суше покатились повозки, сначала конные, потом паровые. Сам человек из пещер переселился в шалаш, потом в бревенчатую избу, которая, сменив дерево на камень, постепенно превратилась в многоэтажный дом.

А Земля все летала вокруг Солнца. И с каждым ее облетом техника становилась все совершеннее. И вот уже понес-



лись по воздуху самолеты, под льдами Арктики проплыли подводные лодки, электрические поезда помчались по суше. Подчиняясь воле человека, атом открыл свои извека запертые кладовые, в Космос устремились могучие ракеты.

И вот, наконец, настало время, когда человек смог вполне сознательно оценить все то, что он сделал, и сравнить это с самим собой, с тем, чем наградила его природа.

Результаты получились очень интересными. Человек сделал очень много для создания устройств, заменяющих работу его мышц или облегчающих ее. Человек может передвигаться, но медленно и не на большие расстояния. Он придумал транспортные средства, которые быстро и далеко переносят его по земле, воде и воздуху. Человек многое может сделать руками, но созданные им машины делают все гораздо скорее, точнее и лучше. Но, кроме мускулов,

у человека есть органы чувств, которые дают ему возможность общаться с окружающим миром, и есть разум, позволяющий ему познавать мир во всех его проявлениях.

И вот добросовестная оценка возможностей органов своих чувств, своих мыслительных способностей показала человеку, что органы его чувств и его разум гораздо выше всех созданных им устройств.

Часть функций организма, таких, как, например, обоняние, вообще не удалось еще выполнить при помощи аппаратуры. Для выполнения функций других органов чувств удалось создать соответствующие устройства, но их возможности и чувствительность, как правило, меньше, чем у человека или других живых существ, размеры во много раз больше, надежность значительно уступает, а потребление энергии настолько больше, что в отношении экономичности обычно их просто и сравнивать нельзя.

Можно взять в качестве примера зрение. Наш глаз дает нам очень четкое цветное изображение тех объектов, на которые он направлен. Размеры глаза очень малы, чувствительность исключительно велика. Привыкший к темноте глаз, достигший уровня так называемого сумеречного зрения, уже реагирует на попадание в него всего десяти и даже меньше квантов света. В то же время глаз спокойно переносит самое яркое солнечное освещение. Глаз производит автоматическую фокусировку в соответствии с расстоянием до рассматриваемого объекта и автоматическое диафрагмирование в зависимости от освещенности. В глазу насчитывается около 130 млн. чувствительных окончаний зрительного нерва, воспринимающих свет. Значит, видимое нами изображение состоит из огромного количества «точек». Кроме того, благодаря тому, что у нас два глаза и они несколько разнесены, возникает стереоскопический эффект, дающий пространственную перспективу, позволяющий нам оценивать расстояние и пр.

Невозможно описать все особенности и достоинства нашего глаза. Их очень много. Создать устройство, подобное глазу, до сих пор не удалось. Фотоэлементы могут быть приравнены лишь к одному окончанию зрительного нерва — одному из 130 млн., причем чувствительность фотоэлемента ниже. Осуществлять автоматическую фокусировку научились, да и то далеко не в полной мере и лишь в последнее время (трансфокаторы), но устройство это очень дорогое, большое по размерам, сложное и работающее лишь в срав-

нительно небольших пределах. То же можно сказать и об автоматическом диафрагмировании, которое решается еще сложнее. В результате то устройство, которое современная утонченная техника могла бы предложить вместо глаза, практически не может идти с ним ни в какое сравнение ни по одному показателю, а по размерам, весу, потреблению энергии, надежности, долговечности разница настолько катастрофична, что тут собственно никакое сопоставление невозможно. Природа за миллионы лет отбора и приспособления сумела создать изумительные по своему совершенству органы.

Наиболее сложно и недостаточно хорошо понятно устройство нашего мозга. Можно сказать, что до самых последних лет о работе своего мозга и всей нервной системы человек знал очень мало. Лишь в последние годы в связи с успехами радиоэлектроники началось серьезное изучение нашего организма в этом отношении, началось изучение процессов мышления, механизма памяти, восприятия и пр. Возникла новая отрасль науки — кибернетика, одной из задач которой является моделирование работы нашего мозгового аппарата для создания устройств, могущих заменить человека в ряде случаев, относящихся к управлению различными процессами и установками, в вычислительных работах, в собирании и хранении информации и пр. Теперь такие машины — по существу лишь первые попытки в этом направлении — уже строятся. Многие из них, например электронные счетно-решающие машины, успешно работают и приносят огромную пользу, заменяя, особенно в вычислениях, труд сотен и тысяч людей.

Нас здесь интересуют не устройство и принципы действия таких машин, а сравнение их с человеческим мозгом. Важнейшей частью как мозга, так и машин, в какой-то степени заменяющих его, являются запоминающие элементы. Они хранят запас сведений и выдают их, когда это требуется. У человека насчитывается по крайней мере до 15 млрд. подобных ячеек памяти. Это число, вероятно, надо считать низшим пределом возможного. Но мы для сравнения возьмем меньшее число: 10 млрд. Предположим, что мы хотели бы заменить 10 млрд. таких ячеек современными экономичными полупроводниковыми триггерными приборами, потребляющими 0,1 *вт*. Объем такого элемента со всем к нему относящимся около 1 $см^3$. При такой упаковке 10 млрд. элементов заняли бы небоскреб высотой 100 *м*

со сторонами 10 на 10 *м*. Потребление энергии достигало бы миллиона киловатт.

Совершенно очевидно, что такое предприятие невыполнимо. Конечно, в небоскреб тут не уложиться. При плотной упаковке нет возможности ремонтировать элементы, заменять их, проверять. Нужны проходы, нужны стройки, нужно сложное устройство искателей и переключения для поисков требующихся сведений среди миллиардов хранящихся, нужна могучая система охлаждения, шутка ли: в одном доме будет выделяться миллион киловатт!

Трудно перечислить все, что еще нужно. Но очевидно, что нет нужды делать это. Мы сравниваем явно несравнимое. С одной стороны, мозг объемом в 1,5 $дм^3$ — примерно объем одного кирпича, с другой — небоскреб со сверхмощной электростанцией для питания его. А ведь не забудем, что мы взяли только память и уменьшили число запоминающих элементов в 1,5—2, а, может быть, и более раз. В нашем мозгу есть еще зрительные центры, слуховые центры и пр.

Совершенно очевидно, что сравнение невозможно. Сравнение лишь убеждает в великом мастерстве природы, в поразительных результатах естественного отбора. У природы надо учиться.

Надо изучать устройства, сотворенные природой, надо стремиться понять принцип их действия. Надо постараться заимствовать удивительную способность природных органов самозалечиваться и самовосстанавливаться. К сожалению, здесь еще в слишком многом нет необходимой ясности, а исследования крайне затруднены. Кроме того, до сих пор изучение человеческого организма производилось главным образом с медицинскими целями, для того чтобы научиться лечить человека и предупреждать заболевания, а не для заимствования устройства его органов. Человека изучали медики, теперь же его должны изучать инженеры или врачи с инженерным уклоном и инженерными знаниями.

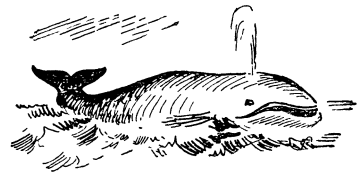
Большая взаимосвязь между различными областями знания, наблюдающаяся теперь, приводит к возникновению новых наук, так называемых стыковых наук, возникающих на линии соприкосновения, на стыке двух ранее существовавших наук. Изучением человека и вообще живых существ (мы говорили главным образом о человеке, но боль-

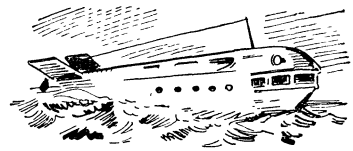
шой интерес представляют и другие представители органической природы) занимается биология. Новая «стыковая» наука, содержание которой состоит в изучении человека и других живых существ для переноса принципов устройства живых органов в технические устройства, получила название бионики.

Главнейшую роль в моделировании живых органов играет радиоэлектроника. Поэтому именно радиоэлектроника совместно с биологией являются учредителями бионики и само название «бионика» образовано из начала слова «биология» и конца слова «электроника». Но бионику не следует считать равнозначной биологической электронике. Биологической электроникой называют другую «стыковую» отрасль науки, изучающую применение радиоэлектронной аппаратуры для познания биологических процессов и воздействия на них.

Бионика как наука еще совсем молода, но она развернулась сразу широким фронтом и сулит буквально сказочные перспективы. Оказывается, мы совсем плохо знаем себя и весь животный мир. Природа малыми средствами, очень просто и чрезвычайно экономично решила такие задачи, которые для нас недоступны или же мы можем решить их при помощи нашей техники, которой мы так гордимся, гораздо хуже — путем больших, сложных, ненадежных, неэкономичных установок. Бионика за немного лет своего существования открыла перед нами целый новый мир интереснейших устройств и возможностей, которыми оснащено и располагает царство живых существ. Техника часто, слишком часто оказывается посрамленной. Нам трудно далось устройство гироскопа, и мы думали, что он может быть осуществлен лишь одним способом — при помощи вращающегося механизма. А, оказывается, бабочка очень просто достигает того же при помощи двух небольших крылышек. А обыкновенный речной рак располагает невероятным по своему эффекту «устройством»: его орган равновесия исключительно чувствителен к перемещениям в любом направлении и вдобавок еще и к вибрации. Неясно только одно — как он устроен. Но, конечно, эта неясность будет устранена, и тогда техника «выдаст» новый прибор, который крайне необходим. Ведь идя по этому же пути, у нас в Московском университете в результате исследования медузы сумели изготовить замечательный прибор для предсказания штормов (стр. 85).

Бионика уже имеет в своем активе много побед. Изучение глаза лягушки дало возможность построить электронный «глаз», который следит только за движущимися предметами и не замечает неподвижных. А японцы обратили внимание на то, как хорошо плавает кит, хотя формы его совсем не похожи на наши ножевидные суда. Сделали экспериментальное судно по китовому «образцу» и оказалось, что при тех же показателях, которые имели лучшие суда, «китообразное» судно нуждается в двигателе на 25% меньшей мощности.





Эти примеры показывают, сколь разнообразными и высокоэффективными могут быть плоды исследований, которые ведет бионика.

---

Радиоастрономия зародилась лишь в послевоенные годы, но развивается она очень быстро. Новое средство познания мира — радиотелескопы — множатся небывалыми темпами, и их огромные устремленные в небо параболоиды не представляются уже редкостью.

Среди многих радиоизлучений, воспринимаемых этими телескопами, характерно одно, имеющее длину волны 21 *см*. Его можно уловить отовсюду, весь космос звучит на этой волне.

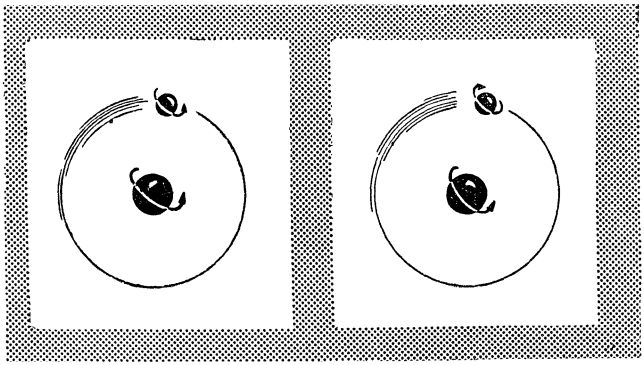
Что же является источником космических радиопередач с такой длиной волны?

Оказалось, что на волне 21 *см* излучает водород — атомы водорода, рассеянные в межзвездном пространстве.

Мы когда-то считали космическое пространство совсем пустым. Это было ошибочным представлением. В этом пространстве носятся отдельные атомы химических элементов, в частности натрия, водорода. Этих атомов не так уж много, например водорода на 1 $см^3$ приходится всего один-два атома, но ведь космическое пространство бескрайно, поэтому количество водорода в нем неисчислимо велико.

В очерке о молекулярных усилителях было рассказано о механизме излучения атомами и молекулами электромагнитных волн. Такое излучение происходит при переходе атома или молекулы из энергетического состояния с более высоким уровнем в энергетическое состояние с более низким уровнем. Освобождающаяся энергия и излучается при этом в виде электромагнитных колебаний.

Таков же механизм излучения и атомами межзвездного водорода. Излучение происходит при переходе атома из одного энергетического состояния в другое — с меньшим



уровнем. Однако физика этого явления у водорода несколько отлична от той, о которой говорилось в очерке о молекулярных усилителях. У водорода при переходе атома из состояния с одним уровнем энергии в состояние с другим уровнем не происходит перехода электрона (у атома водорода — единственного) с одной орбиты на другую, а изме-

няется направление вращения электрона. Дело в том, что элементарные частицы вращаются вокруг собственной оси. Это вращение называется спином. У атома водорода при изменении энергетического состояния изменяется спин электрона. Спин есть и у ядра атома водорода — протона, и у его электрона. Если спины ядра и электрона направлены в одну сторону, то их магнитные моменты складываются и энергия атома увеличивается. Если направление спина электрона изменится, то магнитные моменты ядра и электрона будут вычитаться и энергия атома уменьшится. Квант энергии, который при этом выделяется, соответствует электромагнитной волне длиной 21 *см*. (Энергия электромагнитной волны определяется только частотой ее, так как скорость движения волны постоянна.)

Количество излучаемой энергии (длина излучаемой волны) могло бы изменяться, если бы атомы были связаны в системы (см. очерк о молекулярных усилителях), но в межзвездном пространстве атомы крайне редки и ни о какой связи их не может быть и речи, поэтому излучаемая волна строго постоянна. Количество вещества в межзвездном пространстве не везде одинаково. В нем есть места скопления пыли, есть туманности, количество вещества в которых определяется $10^{-21}$ *г* на кубический сантиметр (около 1 000 атомов в кубическом сантиметре); в наиболее «пустых» местах по предположениям один атом приходится на 15 $см^3$. Это соответствует «давлению» $2{,}5 \cdot 10^{-21}$ атмосферы, а длина свободного пробега, т. е. пробега между столкновениями с другими элементарными частицами, составляет примерно $32 \cdot 10^9$ *км*.

Для того чтобы атом водорода излучил электромагнитное колебание, он должен подвергнуться воздействию энергии извне, например энергии электромагнитных волн. Теория говорит, что при воздействии квантов энергии нужной величины на атомы или молекулы, имеющие разные энергетические уровни, совершенно одинакова вероятность захвата дополнительной энергии молекулами, находящимися на низшем уровне, или излучения энергии молекулами, находящимися в активном состоянии (имеющими избыток энергии). Поэтому одни атомы водорода теряют избыток энергии, а другие приобретают его, причем относительное количество их не изменяется.

Подсчитано, что изменение энергетического уровня молекулы межзвездного водорода происходит крайне

редко — примерно 1 раз в 11 млн. лет. В заключение надо подчеркнуть, что истолкование спина как примитивного вращения частиц является упрощением, допущенным для большей наглядности.

---

## Связь на волнах тяготения

Наше время характерно смелыми поисками, дерзновенными попытками подчинить человеку все новые силы природы, даже такие, к которым, как кажется, нет никакого «подхода», которые как будто совершенно не поддаются никакому воздействию.

Мы встречаемся с силами тяготения буквально на каждом шагу. Ведь ходьба с точки зрения механики есть ряд последовательных падений тела, вызываемых силой тяготения и вовремя предупреждаемых выставленной вперед ногой. Всякое наше движение и даже пребывание в покое делается с учетом этих сил. Мы можем укрыться от света и вообще от электромагнитных колебаний любой частоты, от электрического поля, от магнитного поля, от теплового воздействия и т. д., но мы никуда не можем деться от поля тяготения (не следует думать, что состояние невесомости в спутниках означает прекращение действия силы тяготения. Невесомость возникает именно вследствие действия силы тяготения, которая уравновешивается центробежной силой. Перестань действовать сила тяготения, и спутник был бы вышвырнут со своей орбиты в мировое пространство). Но тем не менее сущность тяготения нам неизвестна, мы не знаем, в чем состоит его природа. Ни разу не удалось обнаружить, что гравитационные силы распространяются с какой-либо скоростью.

Но из теории относительности следует, что должны существовать гравитационные волны и что распространяются они со скоростью света. Отсюда же следует, что между полем тяготения и световыми волнами должно быть определенное

взаимодействие, а именно, в поле тяготения луч света должен искривляться. Это было проверено уже около 40 лет назад, и проверка подтвердила: да, действительно, искривляется! Так не можем же мы отрицать возможность существования гравитационных волн, волн тяготения только потому, что они пока не уловлены.

А почему собственно это интересует нас? Потому что было бы весьма заманчиво использовать волны тяготения для связи.

Когда-то, в далекие времена, человек осуществлял связь кострами, барабанами, семафорами, гонцами. Вероятно, можно насчитать сотни подобных способов связи, но всех их роднит одно — они были совсем плохи. Первое резкое улучшение связи произошло тогда, когда между городами были протянуты провода, по которым побежали электрические сигналы. Вполне понятно то ликование, которым было встречено появление электрического телеграфа, а потом и телефона, связавшего не только города, но и страны и даже материки, разделенные тысячекилометровым океаном. Житель Европы мог разговаривать с жителем Америки!

Но эксплуатация скоро выявила много недостатков проводной связи. Нет смысла развивать эту тему, достаточно указать только на одно, на невозможность связи с движущимися объектами, а бурное развитие всех видов транспорта сделало такую связь необходимой.

Тут подоспело радио. Оно разрешило проблему связи с самолетами, морскими и речными судами, с поездами и автомобилями и пр., а в последние годы даже с космическими кораблями и ракетами. Однако и радиосвязь неидеальна. Радиоволны испытывают поглощение, отражение, они весьма чувствительны к помехам. Это особенно сказывается при космической связи, а связь этого рода уже перекочевала со страниц фантастических романов в действительность, и нужда в ней становится все настоятельнее.

На сцену выходят световые волны. Кристаллы (или полупроводники), «стреляющие» светом (см. стр. 226), рассматриваются, в частности, как будущее средство космической связи. Но и световые волны не без недостатков. Любое пылевое облако прервет их путь. Свет, конечно, создаст помехи приему слабого светового луча (с большого расстояния). Очевидно, связь будет возможна только с объектами, находящимися на ночном небе. Из этого положения

есть выходы, но это не делает ненужными поиски других средств связи.

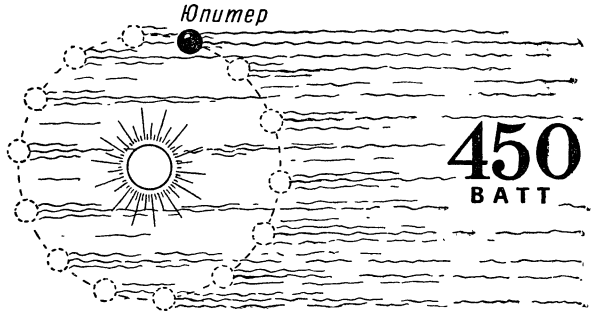
Поэтому внимание привлекли силы тяготения, не знающие преград. Если бы удалось использовать их для связи, то лучшего, кажется, нельзя было бы и желать. Они проникают сквозь любую преграду и должны быть свободны от помех.

В литературе можно найти много статей о волнах тяготения. Некоторые ученые считают вообще необоснованными высказывания о волнах тяготения, поскольку реальность их еще не подтверждена. Столь же условными являются и «кванты тяготения» — гравитоны, которые иногда привлекаются к участию в попытках представить себе физическую сущность тяготения. Такая двойственность теперь вполне правомерна: если электромагнитные волны могут быть одновременно и потоком частиц — фотонов и представлять собой колебательный процесс, то такой же двойственной природой могут обладать и силы тяготения. Во всяком случае могущественный арсенал средств современной науки обращен на исследование и изучение гравитационных сил, причем одной из важных целей этого изучения является использование их для организации сверхдальней связи.

В чем состоит основное затруднение? В трудности возбуждения волн тяготения достаточной мощности. Из теории относительности вытекает, что эти волны возникают, когда тело движется ускоренно или же вибрирует, колеблется. Чем больше масса тела и частота колебаний, тем сильнее будут волны. Зависимость между частотой и мощностью гравитационного излучения выражается шестой степенью. При удвоении частоты мощность излучения возрастает в 64 раза. Но чем больше масса, тем труднее заставить ее колебаться с высокой частотой. А при малой массе излучение получается слабым. Подсчитано, что огромный Юпитер при своем обращении вокруг Солнца излучает гравитационные волны мощностью всего в 450 *вт*.

Однако предварительные работы постепенно завершаются. Ученые считают, что дело находится уже в преддверии эксперимента, который многие называют Большим экспериментом, поскольку удача его будет иметь огромное значение. В США готовится приемник для приема гравитационных волн, приходящих из мирового пространства. Он в общих чертах представляет собой полуторатонный алюминиевый цилиндр, помещенный в вакуумированную ка-

меру. На торцах цилиндра находятся пьезодатчики. При воздействии на цилиндр волн тяготения он должен начать колебаться, что будет зарегистрировано пьезодатчиками. Уже удалось зарегистрировать смещение торцов всего на $10^{-14}$ *мм* ($10^{-11}$ микрона). Предполагается, что чувствительность удастся повысить еще на один порядок — до $10^{-15}$ *мм*. Генератор гравитационного излучения устроен в общем так же. Его алюминиевый цилиндр приводится в колебания пьезоэлементами. Частота 1 650 *гц*.




Другой предложенный способ основан на отклонении светового луча полем тяготения. Основная суть его состоит в следующем. Два взаимно перпендикулярных световых луча пересекаются с гравитационной волной. Если затем совместить световые лучи, то должна будет возникнуть интерференционная картина. Смещение полос интерференции будет происходить с частотой гравитационной волны. Этим способом, как ожидают, можно будет обнаружить волну даже с очень большим периодом, таким, как одно колебание в год или в 10 и даже в 100 лет. Смещение полос будет незначительным, но физика располагает способами обнаружения самых малых смещений, например смещений в 100 электронных диаметров, т. е. примерно одну тысячную часть поперечника атома.

Недавно астрономы обсерватории Маунт-Паломар обнаружили двойную звезду в созвездии Стрельца, одна из которых обращается вокруг другой с фантастической скоростью: полный оборот она делает за 81,5 *мин*. Астрономы полагают, что если масса второй звезды не меньше одной сотой массы главной звезды, то исходящие от них гравитационные волны можно будет обнаружить.

Между прочим, отсутствием у нас достаточно чувствительной аппаратуры для приема волн тяготения иногда пытаются объяснить тот факт, что на Земле до сих пор не удалось принять какие-либо организованные сигналы с других планет. При этом рассуждают так. Очевидно, делать попытки связаться с другими планетами могут только высокоразвитые обитатели иных миров, где наука и техника достигли соответствующего расцвета. Им должно быть известно, что радиоволны и световые лучи мало пригодны для целей дальней (в космических масштабах) связи, поэтому они и пользуются гравитационной связью, мы же ее сигналы пока не принимаем.

Надо отметить также, что гравитационные волны не единственные, на которые возлагаются большие надежды в отношении организации дальней связи. В запасе еще держат нейтринную связь. Как известно, нейтрино представляют собой наименьшие материальные частицы, не имеющие заряда. Малые размеры их и отсутствие заряда обеспечивают им феноменальную проникающую способность. Нейтрино беспрепятственно проникает через чугунную плиту, толщина которой в миллиард раз больше расстояния от Земли до Солнца. Все пространство пронизано потоками нейтрино. Солнце до 10% своей энергии излучает в виде нейтрино. Через нас, конечно, тоже непрерывно пролетают «тучи» нейтрино. Подсчитано, что через тело человека за его жизнь проходят триллионы триллионов нейтрино, но застревает в нем из всей этой массы всего одно нейтрино.

Очень соблазнительно использовать такую всепроникающую частицу так же, как, например, фотоны. Нейтрино можно было бы использовать и для получения новых сведений о Вселенной и для связи. Но, к сожалению, нейтрино, как и волны тяготения, пока не дается в руки. Из этих двух предполагаемых кандидатов в средства связи, по-видимому, больше надежд подает пока тяготение. Тут хоть что-то нащупывается, есть какие-то (пусть слабенькие) перспективы.

А нейтрино в самом буквальном смысле слова не замечает нас. Он проносится через нас самих и весь земной шар, как через пустое место.

Она зародилась..., трудно сказать, когда именно она зародилась. Ее создатели считают, что она существует уже около 4-х лет. По всей вероятности, историки будут считать, что первые основы этой науки были заложены в 1946 г., но по настоящему ее началом надо считать 1961 г.

Так или иначе, она совсем молода, настолько молода, что ей еще не придумали названия. Ее называют и активной радиоастрономией, и планетной радиолокацией, и космической радиолокацией. Если предметом астрономии является изучение Вселенной с помощью приходящих к нам оттуда световых волн, а радиоастрономия делает то же, исследуя радиоволны, доходящие до Земли из Космоса, то радиолокационная астрономия не ждет, пока до Земли что-нибудь дойдет. Она сама посылает в Космос электромагнитные импульсы, принимает отражение их от космических тел и, исследуя эти отражения, получает такие сведения, которые иными путями получить или очень трудно, или совсем невозможно.

Отсюда и эпитет «активная». Астрономия и радиоастрономия довольствуются тем, что они получают из Космоса. Активная радиоастрономия сама посылает электромагнитные колебания и улавливает их отражение.

Впервые радиолокационные сигналы были посланы в 1946 г. на Луну. Это был просто опыт с целью выяснить — дойдет или не дойдет. Сигналы до Луны дошли, отразились от нее, вернулись на Землю и были приняты. Это оказалось не слишком трудным: все-таки Луна находится очень близко, всего около 400 тыс. *км*. В последующие годы опыт был повторен, а в 1958 г. в США и в 1959 г. в Англии были сделаны попытки лоцировать Венеру, но они не были удачными. Первая успешная радиолокация Венеры была произведена одновременно в СССР, США и Англии в 1961 г. Эту дату с каким-то правом и можно считать началом новой науки, охватывающей вопросы, связанные с лоцированием планет.

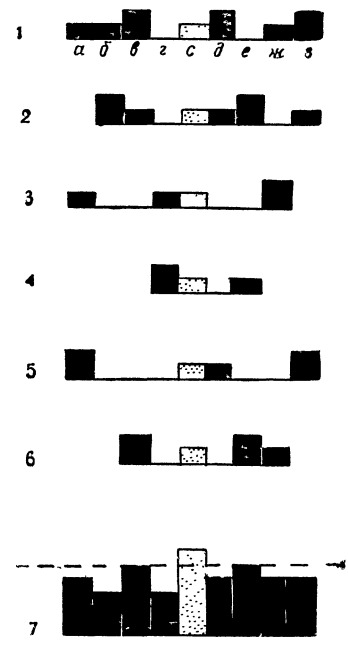
Только что написанная фраза о новой науке внимательному читателю покажется излишне сложной. Не проще ли

прямо назвать новую науку одним из ее имен? Но делать это не хочется, потому что тогда трудно обойтись без слова «радио», а тут приходится иметь в виду не только радио. На стр. 234 помещен материал о первой вылазке в Космос лазера. Это тоже локация, но световая, своего рода светолокация. Ее цель та же, что у радиолокации, да и техника, грубо говоря, такая же. Вероятно, новая наука возьмет в свой арсенал и радиопередатчики, и лазеры, и ее название должно будет как-то это отразить, тем более, что лазерам по их возможностям нельзя отводить вторую роль. Может быть к ней подошло бы название «космическая эхолокация»? Успехи молодой науки, развивающейся у нас под руководством группы ученых, возглавляемой акад. В. Котельниковым, очень многообещающи. Уже лоцированы Венера, Меркурий, Марс и даже Юпитер. Получены интереснейшие данные о характере поверхности этих планет и уточнены расстояния до них. Установлено, что расстояния, определенные ранее доступными тогда средствами, были неточны. Разница эта такова, что если бы космический корабль устанавливал свой курс с Земли на Марс по старым данным, то он «разошелся» бы с планетой на 125 тыс. *км*.

Очень интересна локация Юпитера. Радиолокационным импульсам пришлось в этом случае проделать путь в 1 млрд. 200 млн. *км*. Даже быстролетным радиоволнам потребовалось на преодоление такого расстояния больше часа. Если жителям Земли придется когда-нибудь разговаривать с Юпитером по радио, то этот разговор, очевидно, не будет особенно оживленным! Вернувшиеся на Землю радиолокационные сигналы были исключительно слабыми и, вообще говоря, целиком перекрывались помехами. Из этих помех их надо было «вытащить». И надо отдать должное и великолепной современной технике, и нашим первоклассным ученым и инженерам. Они сумели «вытащить» сигналы.

Для этого был применен метод накапливания. Его суть заключается в общих чертах в следующем. Помехи хаотичны. Они могут быть сильными, но частота их постоянно меняется. В любой отдельный момент они перекрывают сигнал. Но сигнал идет все время на одной и той же частоте. Если накапливать сигналы вместе с помехами в течение какого-то времени, то сигнал в конце концов «вылезет», окажется больше помех и его можно будет выделить.

Понять это, вероятно, поможет рисунок. Сигнал здесь помечен буквой «с» и показан заштрихованным прямоугольником. А помехи показаны на частотах от «а» до «з», они зачернены. Высота прямоугольника характеризует уровень.




Всего показано шесть соотношений между уровнем сигнала и уровнем помех на различных частотах (от которых нельзя отстроиться) для шести отдельных мгновений. В любом из этих шести случаев уровень помех превосходит уровень сигнала. Например, в первом случае превосходят помехи «в», «д» и «з», во втором — «б» и «е», но попробуем сложить их. Результат сложения представлен на седьмом соотношении. Как видим, сигнал уже «вылез», он на полквадрата превышает уровень самых сильных помех.

Чем слабее сигнал и чем сильнее помехи, тем дольше должен продолжаться процесс накапливания, чтобы «вытянуть» сигнал. Чем длительнее будет этот процесс, тем все помехи по теории больших чисел будут приближаться к одинаковой величине, которую сигнал превысит.

Сколько же времени приходилось «накапливать» отраженный сигнал при локации Юпитера? Невероятно долго — 20 часов! Можно представить себе, насколько «ювелирно» должна работать вся установка, чтобы проделать все это. Между прочим, интересно отметить, что в установках для лоцирования планет применяются парамагнитные усилители (см. стр. 218). Для иллюстрации поразительной чувствительности установок для приема подобных сигналов можно привести сравнение, сделанное одним из ведущих работников этой области науки. Если в океан вылить один стакан кипятка и воду в океане размешать, то вода станет несколько

теплее. В стакане этой более теплой воды будет больше энергии, чем было раньше. Но разница будет, как всем понятно, исключительно мала. Однако энергия, составляющая эту разницу, будет гораздо больше энергии сигнала, принимаемого установками, о которых только что говорилось.

---

Это не выдумка и не бьющая на эффект фраза. Она вполне соответствует действительности. Суть дела состоит вот в чем.

Сердце человека бьется с некоторой, определенной частотой. Частота эта зависит от обстоятельств. Спит ли человек, идет, бежит, отдыхает и т. д., каждому такому состоянию соответствует тот или иной ритм работы сердца. Этот ритм задается принудительно. Как у радиолокационной станции есть хронизатор, задающий ритм работы всей станции, так и в организме есть свой хронизатор, устанавливающий нужный для данных условий ритм работы сердца.

А сердце — очень сложный механизм. У его многочисленных частей есть свои подсобные хронизаторы, вырабатывающие ритм, но все они увлекаются импульсами главного хронизатора и работают в нужном такте. Беда, если работа всех частей рассогласуется или прекратится подача импульсов от главного хронизатора. Начнутся перебои, мучительная скачка, которая может окончиться остановкой, у которой очень нехорошее название — смерть.

Бывает, к сожалению, слишком часто бывает, что остановка вызывается неотвратимыми причинами, сравнимыми с полным износом. Но к счастью бывает и так, что согласованная работа сердца, работа всех его агрегатов нарушается более или менее случайными причинами. Сердце могло бы еще работать, если бы ему был задан необходимый ритм.

Врачи пытливо изучали работу сердца. Выяснили, что сигналы ритма являются сигналами биоэлектрическими.

Ритм работы сердца можно поддержать, подводя к нему соответствующие электрические импульсы от постороннего источника, выражаясь радиоязыком — от постороннего генератора импульсов.

Хорошо, если это нужно сделать лишь на какое-то короткое время, например во время операции, когда нужно поддержать работу сердца. А как быть, если такое управление работой сердца должно быть длительным, если оно должно продолжаться, предположим, месяцами?

Вживить в сердце электроды оказалось не так сложно. Но как быть с генератором импульсов? Поместить его внутри организма? Допустим, место для него найти можно, но как быть с ремонтом, со сменой источников питания? Не вскрывать же каждый раз грудную клетку. И еще огромная трудность — провода. В человека нужно ввести провода, тогда генератор можно держать хоть в кармане. Но провода — вещь ненадежная, они могут ломаться. А в данном случае перелом провода означает не трески в телефонной трубке и не прекращение работы телевизора, а что-то неизмеримо худшее...

И вот было найдено смелое решение — радио! Приемник поместить внутри грудной клетки, а передатчик снаружи. И передавать нужные импульсы по радио.

Мы здесь опустили многие подробности. Например, не сказали о том, что ритм работы сердца должен меняться (отдыхаем, идем и т. д.), значит у генератора должен быть переключатель, а как им управлять, если он внутри тела? Применение радиосвязи разрешило эту задачу и многие другие.

Это было осуществлено. У пациентки через 33 *мин* после смерти рядом мер удалось восстановить работу сердца и задать ему ритм генератором импульсов. В груди был помещен полупроводниковый прибор, к поясу больной прикрепили передатчик, антенна которого располагалась как раз против прибора, находившегося внутри. И человек стал жить. Через месяц он выписался из клиники домой.

Это было сделано в Московском институте сердечно-сосудистой хирургии.

Конечно, не нужно думать, что все это очень просто и что завтра такие вещи будут проделывать в районных поликлиниках. Это — самый передний фронт науки, это — подвиг разведчиков науки, ее первопроходцев. Но этот факт сам по себе хорошо иллюстрирует то, что дает различ-

ным отраслям науки, в данном случае медицине, союз с радиоэлектроникой. Без радиоэлектроники теперь не может плодотворно развиваться ни одна отрасль знания.

---

Прославленный изобретатель закончил свое выступление так: — Как видите, я выполнил свое обещание быть кратким и не утомлять вас глубокой теорией. Приступим к демонстрации. Наиболее пожилые из собравшейся здесь аудитории помнят, как немое вначале кино обрело звук, затем стало цветным, некоторое время спустя рамки экрана широко раздвинулись. Наконец, были найдены способы осуществлять объемное изображение и стереофоническое звучание. Теперь в результате работ нашего НИИ в кино внесено еще одно усовершенствование, основную сущность которого я Вам только что рассказал. Сейчас Вы познакомитесь с ним. Внимание! Прошу начать демонстрацию.

Свет в зале погас. На огромном экране, опоясавшем половину зала, была видна лесная поляна. Слабый ветерок покачивал ветви деревьев, шумела листва, щебетали птицы. На полянке бегали дети...

Зрители замерли. Все было так реально, что им показалось, будто воздух в зале стал другим, словно его наполнил чистый и свежий, напоенный запахом хвои и трав воздух солнечной лесной поляны.

Одна из бегавших на опушке девочек остановилась и закричала:

— Смотрите, ландыши! — Она сорвала несколько веточек с белоснежными цветочками и наклонилась над ними...

По рядам пронесся гул. Раздались возгласы: — Изумительно!.. Полная иллюзия запаха ландышей!... Как они чудесно пахнут!...

Действительно, все сидящие в зале явственно ощутили такой знакомый, нежный и неповторимый запах ландышей...

Читать такое нам приходится пока только в научно-фантастических произведениях, причем авторы иногда даже пытаются объяснить технику воспроизведения запахов вспрыскиванием в воздух соответствующих эмульсий и быстрой сменой всего воздуха в зале при помощи мощных устройств кондиционирования.

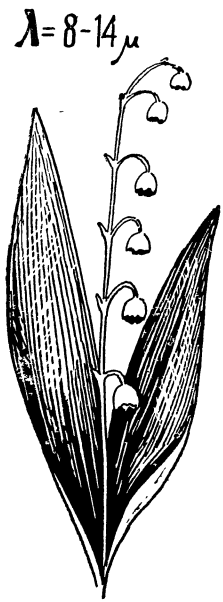
Конечно, такой способ в принципе осуществим. Насыщая воздух тем или иным запахом, можно заставить зрителей чувствовать его, но, конечно, это нельзя проделать очень быстро. Современные кинотеатры велики, и полная смена воздуха в них не может быть произведена быстро, иначе получится совершенно ненужная имитация урагана. В таком мощном потоке воздуха зрителям будет не до запахов и даже не до самой кинокартины. Ураган подавит все восприятия, кроме восприятия его самого.

Нужна ли смена воздуха в подобных случаях? Авторы предложений этого рода основывали их на так называемом химическом механизме восприятия запахов. Он состоит в том, что всякое вещество, издающее запах, испаряет во внешнее пространство молекулы, которые разлетаются во все стороны отчасти из-за имеющегося запаса скорости (скорости вылета), отчасти вследствие толчков от постоянно находящихся в движении частиц воздуха и главным образом вместе с потоками воздуха. Третья причина физически подобна второй и отличается от нее лишь тем, что толчки будут направлены преимущественно в одном направлении — «куда ветер дует».

Попадая в нос, частицы вещества воздействуют на имеющиеся в слизистой оболочке рецепторы (воспринимателя), которые химически взаимодействуют с ними и посылают соответствующие сигналы в мозговые центры. Там эти сигналы рождают в нашем сознании представление о присущем данному веществу запахе.

Однако в наши дни большая часть ученых, в том числе и советских, считает более вероятным, что запахи передаются посредством электромагнитных колебаний. Низкочастотные вибрации молекул вещества сопровождаются возникновением электромагнитных колебаний, воздействующих на специальные рецепторы в слизистой оболочке носа. Эти рецепторы представляют собой что-то вроде микроантенн, улавливающих поступающие колебания и пере-

дающих их в мозговые центры. Предположительно установлен и диапазон волн, который использован природой для передачи запахов. Этот диапазон примерно от 8 до 14 микрон.




Некоторые из поставленных учеными опытов убедительно говорят в пользу электромагнитного механизма передачи запахов. Например, пчелы очень чувствительны к запаху меда. Однако если мед поместить в герметический металлический ящик, то пчелы не воспринимают запаха меда и не проявляют интереса к ящику. Но стоит проделать в ящике «окно», прозрачное для радиоволн указанного диапазона и непрозрачное для более длинных и более коротких волн, в том числе и световых, как пчелы устремляются к окну, несмотря на то, что герметизация ящика остается по-прежнему полной и вылет наружу испаренных молекул меда исключен, исключена также и возможность увидеть мед.

Этот пример — лишь один из многих. С некоторыми из них нам приходится сталкиваться даже в повседневной практике. Например, все знают «запах» железа. Железо начинает пахнуть лишь в нагретом виде и то лишь в определенном интервале температур. При увеличении нагрева запах пропадает. Но ведь не приходится сомневаться в том, что чем выше температура, тем интенсивнее происходит испарение молекул. Поэтому остается предположить, что колебания частоты, нужной для ощущения нами запаха, излучаются молекулами железа лишь при определенных температурах. При более высоких и более низких температурах эти частоты уже не излучаются и мы перестаем чувствовать запахи.

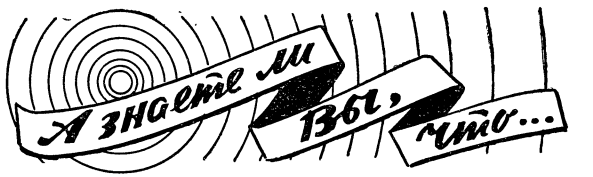
Исследования механизма восприятия запахов развертываются все шире. По существу лишь в последние годы наука получила мощное средство генерирования частот инфрасветового диапазона — квантовые генераторы (лазеры). Без таких устройств исследования очень затруд-

нены, потому что интересующие нас явления часто маскируются другими, из которых их нелегко выделить. Например, из-за особенностей распространения электромагнитных волн микронной длины они часто не доходят до нас непосредственно от источника (не надо забывать о том, что мощность подобного излучения крайне мала). Поэтому фактически носителями запахов являются действительно испаренные молекулы, распространяющиеся в воздухе. Мы почувствуем запах только тогда, когда до нас долетят такие молекулы, но восприятие запаха будет вызвано не химическим действием молекул, а излучаемыми ими электромагнитными волнами. С этой точки зрения молекулы вещества, испаренные телом, — это просто летающие радиопередатчики, мощность которых, а вследствие этого и радиус действия очень малы. Это обстоятельство хорошо объясняет и медленность распространения запахов, и распространение их по ветру и т. п.

Эта же электромагнитная гипотеза хорошо объясняет и возможность имитации запахов, что широко используется в парфюмерной и отчасти пищевой промышленности.

Теперь большинство ароматических веществ являются производными нефти и каменного угля, и мы имеем возможность наслаждаться ароматом тех же ландышей или запахом ванили тогда, когда в том, что издает эти запахи, нет ни одной молекулы, извлеченной из нашего лесного любимца или стручка тропической орхидеи. Подобным образом пахнущее геранью отравляющее вещество люизит или другое страшное ОВ — иприт, издающий запах горчицы, не имеют ничего общего ни с геранью, ни с горчицей. Суть заключается не в молекулах данного вещества, а в том, чтобы подобрать одинаковую длину волны электромагнитного излучения.

Таким образом, не исключена возможность, что в не столь отдаленном будущем мы станем свидетелями осуществления еще одного из «предсказаний» научной фантастики — передачи запахов по радио и телевидению, воспроизведения запахов в кино, записи запахов на магнитную ленту и пр. И будут печататься объявления о выпуске цветного панорамного стереоскопического, стереофонического и одорированного (а, может быть, озонированного) фильма. Нам пока трудно представить себе, какой из корней возьмет верх — греческий «озо» или латинский «одор». Смысл обоих одинаков — запах.




... ученые по-разному оценивают емкость нашей памяти. Обычно предполагают, что наиболее активная часть памяти, которую часто называют оперативной, содержит около миллиона ячеек ($10^6$). Хранящиеся здесь сведения всегда в нашем распоряжении, мы можем без затруднения вспомнить их в любое время. Пассивная часть памяти гораздо более обширна. В ее распоряжении находится до $10^{20}$ ячеек (сто квинтиллионов). Хранящиеся в этих «кладовых» све-

дения мы необязательно можем вспомнить сию же минуту. В отдельных случаях процесс вспоминания может быть длительным.

* * *

... основой жизни на земле является преобразование растениями солнечной энергии в химическую — фотосинтез. Коэффициент полезного действия растений в этом отношении незначителен: у лука он составляет всего 0,45%, у пшеницы 1,26%, у кукурузы 2,18%, у сахарной свеклы он доходит до 2,2%.

Интересно сравнить эти величины со значениями к. п. д. электронных приборов. Вентильные фотоэлементы, например селеновые, имеют к. п. д. около 1%, т. е. примерно столько же, сколько растения. Кремниевые фотопреобразователи («солнечные батареи») имеют гораздо больший к. п. д. достигающий 12—13%. Теоретически он может доходить до 22%, но достичь такой величины пока не удалось. У лазеров этот коэффициент близок к 100%.

* * *

... очень многие живые существа, населяющие моря и океаны, хорошо слышат инфразвуки, возникающие во время штормов. Это дает им возможность заблаговременно предпринять защитные меры. Медузы, например, хорошо слышат звуковые колебания 8 *гц*, а некоторые рыбы, например щуки, воспринимают колебания с частотой даже ниже 1 *гц* — около 0,9 *гц*.

Инфразвуковое ухо медуз, как уже отмечалось (см. стр. 85), было у нас изготовлено на базе электроники и дало хорошие результаты. Это «ухо» медузы представляет собой висящий на стебельке шарик с жидкостью, образующий резонатор на 8 *гц*. На дне шарика находятся нервные окончания, на которых лежат камешки. При раскачивании пузырька камешки надавливают на нервы.

У рыб по боковой линии от головы к хвосту тянутся два канала, внутри которых расположены чувствительные нервные окончания. Они улавливают малейшие изменения давления. Чувствуя продвижение этого давления по длине каналов и сопоставляя восприятия левым и правым каналами, рыба определяет направление на источник колебаний.

* * *

... техника все ближе подходит к тому, что электроэнергия будет передаваться на большие расстояния по трубам — волноводам. Частота переменного тока будет очень большой, например соответствующей волне 3 *см*. При диаметре трубы 1 *м* по волноводу на этой частоте можно будет передавать мощность 4 млн. *квт*.

Трубы могут быть легкими, тонкостенными, никакой изоляции их от земли не нужно. Преобразовывать энергию в высокую частоту будут мощные генераторы — планетроны.

* * *

... рекордом уверенной космической радиосвязи является пока связь дальностью более 110 млн. *км*. Она установлена с автоматической межпланетной станцией «Марс-1».

* * *

... видные деятели в области электронно-вычислительных машин утверждают, что этими машинами за тот очень короткий срок, какой они работают т. е. по существу, всего за несколько лет, выполнен такой объем вычислительных работ, который превосходит весь объем подобных работ, выполненных человечеством за всю предшествующую его историю.

* * *

... Земля получает от Солнца за 3 *мин* столько энергии, сколько все земные страны расходуют за год.

* * *

... в развалинах одного дворца в Перу (Южная Америка) был найден телефон, возраст которого определен в 1000 лет. Этот телефон, представляет собой два тыквенных сосуда, соединенных туго натянутой бичевкой. Дети часто устраивают подобные телефоны из консервных банок.

... как известно, большой современный воздушный лайнер обильно оснащен радиоэлектронной аппаратурой. Тут и различные передатчики, и навигационная аппара-

тура, и радиолокационные станции, и альтиметры, и аппаратура автоматического управления и др. Но на космическом корабле радиоэлектронной аппаратуры так много, что ее хватило бы на несколько воздушных лайнеров.

* * *

... 12 июля 1962 г. были впервые переданы телевизионные изображения из Франции в Соединенные Штаты при помощи искусственного спутника Земли, который назвали «Телестар». 25 ноября 1963 г. телевизионные изображения впервые передавались из США в Москву. Передача также производилась при помощи искусственного спутника «Телестар».

* * *

... название «электрон» было введено физиком Джонстоном Стонеем. Название «ион» ввел Майкл Фарадей. Когда он вводил это название, ему еще не было известно строение атома.

* * *

... купроксные выпрямители наименее экономичны. Мощность выпрямленного ими тока не превышает 75% затраченной мощности переменного тока. У селеновых выпрямителей этот процент поднимается до 80. Наиболее высок он у германиевых выпрямителей — он превосходит 95%. Германиевые выпрямители — самые экономичные.

* * *

... в быстроте счета человек безнадежно отстает от электронно-вычислительной машины, которая делает в секунду по меньшей мере в тысячи раз больше математических операций, нежели человек. Но это не означает, что человек обязательно отстанет от машины в скорости решения задач. Вот два факта, подтверждающие это.

Доктор физ.-матем. наук С. П. Капица, пользуясь только карандашом, за 3 *ч* рассчитал траектории электронов в одном приборе. Электронно-вычислительная машина решала эту задачу около 3 мес. (решение в обоих случаях было правильным). Объясняется это тем, что С. П. Капица пользовался упрощенным методом расчета, предложен-

ным акад. П. Л. Капицей, машина же считала обычным способом. Это хорошо показывает разницу между человеком и машиной. Машина решает согласно заложенному в нее алгоритму, а человек может догадаться, как это сделать проще.

Известный французский математик Морис Дагбер, славящийся быстротой решения задач в уме, решил десять заданных задач за 3 *мин* 43 *сек*. Электронно-счетная машина семь из этих задач решила за 5 *мин* 18 *сек*. И человек, и машина решили одинаково правильно.

Надо полагать, что и в этом случае человек пользовался какими-то упрощающими дело приемами, которые он находил применительно именно к данной задаче, тогда как машина действовала по заданному ей общему шаблону, а творческой способности у нее нет.

* * *

... до сих пор нет единства в оценке того, какое количество информации может переработать человек в секунду. Кибернетики и психологи считают, что это количество не превышает 40—50 бит (бит — единица информации, то количество ее, какое содержится в ответе «да» или «нет»). Они утверждают, что эта скорость предельна и быстро вызывает утомление. Но в то же время человек, для того чтобы понять речь со всеми ее особенностями (куда входят и характеристики каждого звука, и тембр, и общий регистр, и скорость и пр.), должен перерабатывать не менее 1 000 единиц информации в секунду, иначе он не поймет, что ему говорят, кто говорит и т. д.

Такое расхождение показывает в первую очередь, очевидно, то, что вопрос этот еще недостаточно хорошо изучен.

* * *

... происхождение импульсов по нервной системе человека происходит со скоростью около 100 *м/сек*. Эта скорость сравнительно со скоростью электрического тока довольно мала, что зачастую ограничивает возможность человека вовремя реагировать на какие-то события. Хотя размеры человека таковы, что время прохождения импульса от наиболее удаленных органов тела до мозговых центров обычно не превышает 0,01—0,02 *сек*, все же весь процесс

реагирования — восприятие раздражения, принятие решения, передача его исполняющему органу — может продолжаться от нескольких сотых до одной десятой секунды, а иногда и дольше.

Поэтому в ряде случаев, например на скоростном транспорте, автоматические устройства вытесняют человека и в дальнейшем, с увеличением скорости транспорта, человеку все чаще придется перекладывать оперативное управление на электронные автоматы, на срабатывание которых нужны тысячные доли секунды.

* * *

... вопрос, на какой высоте над землей начинается космос, не так-то прост? На этот вопрос трудно дать однозначный ответ. Ученые разных специальностей принимают за начало космического пространства неодинаковую высоту.

Астрофизики считают, что космос начинается на высоте около 1 тыс. *км*, так как эта высота является крайней зоной северных сияний.

Физики считают границу космоса ниже — около 200 *км*, потому что выше практически отсутствует сопротивление движущимся телам.

Метеорологи еще больше приближают границу космоса, примерно до 130 *км* — это крайняя высота, на которой наблюдается загорание метеоритов (обычно 80—120 *км*).

Биологи считают космосом уже высоты, превышающие всего 16 *км*. Их точка зрения объясняется тем, что выше 16 *км* не может существовать жизнь.

Радисты в общем согласны с физиками. Для них космос начинается там, где заканчивается ионосфера, оказывающая влияние на прохождение радиоволн. Ионосфера простирается примерно от 60 *км* до 1—2 тыс. *км*.

Число молекул в 1 $см^3$ пространства таково:

| | |
|---|---|
| У поверхности земли . . . . . | $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекул |
| На высоте 10 *км* . . . . . | $7{,}2 \cdot 10^{18}$ » |
| » » 1 500 » . . . . . | 1 000 » |
| » » 2 000 » . . . . . | 700 » |
| » » 100 000 » . . . . . | 300 » |

В «чисто космическом» пространстве, т. е. в районах, удаленных от скоплений вещества, число атомов, по-види-

мому, не превышает 1—3 в 1 $см^3$. В местах скопления звездной пыли это количество увеличивается в тысячу и более раз.

* * *

... прослушивание под водой при помощи гидрофонов широко применяется для различных целей, например для нахождения косяков рыбы. В военных флотах такое прослушивание производится для обнаруживания кораблей и, в частности, подводных лодок по шуму их винтов. Одним из средств борьбы с прослушиванием является создание разного рода маскирующих шумов. Оригинальный способ маскировки применили во второй мировой войне японцы. Есть один вид креветок, непрерывно издающих щелкающий шум. Они щелкают непрерывно и днем, и ночью. За эту особенность их иногда называют «щелкунчиками». Японцы подсадили колонию «щелкунчиков» в одну военную гавань США, что полностью парализовало гидроакустические средства обнаружения.

В результате японские подводные лодки проникли незамеченными в гавань и торпедировали находившиеся там военные корабли.

* * *

... акустическая мощность человеческого голоса очень мала, чем и объясняется необходимость применять усилие при звукозаписи и в других случаях. Даже мощность громкого крика совсем мала. Подсчитано, например, что все население крупнейшего города должно кричать непрерывно в течение 2 суток, чтобы «выработать» мощность, которой можно вскипятить ... один чайник воды.

* * *

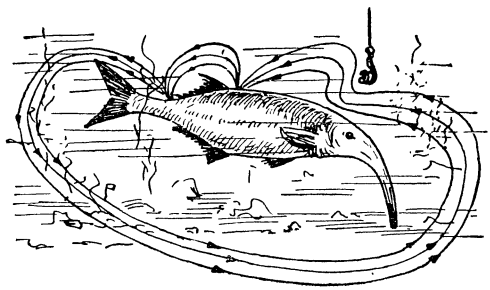
... низкий к. п. д. многих радиотехнических устройств зачастую приводит к необходимости конструирования усилителей с очень большим коэффициентом усиления, по существу в данном случае ненужным. Например, пусть требуется усилить мощность человеческого голоса всего в 100 раз. Величина, кажется, небольшая, и такой усилитель построить легко. Однако приходится учитывать, что к. п. д. микрофона всего около 1% и к. п. д. громкоговорителя

такой же. В результате для компенсирования крайне низкого к. п. д. микрофона и громкоговорителя приходится усиливать начальную мощность в 1 млн. раз.

Миллион вместо ста! Вот как дорого приходится платить за низкие к. п. д. микрофонов и громкоговорителей.

* * *

... одним из удивительнейших с точки зрения радиоэлектроники созданий является рыбка нильский длиннорыл, о которой упоминается на стр. 81. Эта рыбка водится в реках Африки и имеет несколько названий: мормирус, водяной слоник, нильский длиннорыл. Об этой рыбке нам известно далеко не все, но и то, что известно, поражает.



Прежде всего надо сказать, что длиннорыл, пожалуй, единственное из известных живых существ, которое вырабатывает переменный ток. Генератор его находится у рыбки в основании хвоста, на спине. Когда генератор разряжается, он создает в окружающей среде электромагнитное поле. Если в него попадает какой-нибудь новый предмет, то он вносит в линии поля искажение и рыбка сейчас же чувствует это при помощи приемного устройства около спинного плавника со стороны головы.

Чувствительность локатора длиннорыла исключительно велика. Его нельзя поймать сетью, так как он издалека обнаруживает ее. Если длиннорыл находится в аквариуме, то он чувствует приближение человека. Особенно чувствителен он к самым незначительным электрическим разрядам. Достаточно, стоя возле аквариума, провести расческой по волосам, как рыбка начинает метаться. Она воспринимает те микроскопические искорки, которые возникают

при расчесывании сухих волос. Локатор длиннорыла засекает даже маленькую дробинку, брошенную в воду. Он — одно из немногих живых существ, чувствительных к магниту. Он реагирует на поднесение к аквариуму магнита.

Механизм локатора длиннорыла еще в точности не выяснен. С одной стороны, установлено, что он посылает электрические импульсы с частотой около 100 посылок в минуту. С другой стороны, он создает в окружающем пространстве электрическое поле. Из этого вытекают две возможности: улавливание отраженных импульсов и улавливание изменений конфигурации поля. Не исключена возможность, что длиннорыл использует оба способа.

Во всяком случае можно сказать одно, что такое живое существо, как нильский длиннорыл, представляет собой чрезвычайно интересный объект изучения для бионики и, возможно, сможет подсказать нашим инженерам интересные решения вопросов, связанных с подводной локацией не акустическими, а электрическими средствами.

* * *

... механизм нашего цветного зрения еще не выяснен. Утверждение, что на сетчатой оболочке глаза есть три типа особых рецепторов для восприятия красного, синего и зеленого цветов, разделяется не всеми специалистами. Есть, например, предположение, что в сетчатой обслочке имеется система оптически прозрачных волокон, своего рода волноводов, которые по своему диаметру и коэффициенту преломления могут пропустить только лучи того или иного цвета. Эти волокна играют роль «цветного сита» или цветного анализатора, выделяющего из изображения составляющие его цвета.

Если подобное предположение оправдывается, то подобную систему, вероятно, можно будет использовать для осуществления простой системы цветного телевидения.

* * *

... когда мы говорим, наши нервные центры посылают органам речи всего около 50 бит информации (стр. 274) в секунду, играющих роль приказа для произнесения определенных звуков. Органы речи согласно этим приказам настраиваются, что происходит автоматически. При этом

в произносимые звуки автоматически же вкладывается много дополнительной информации, соответствующей формантам данного звука, индивидуальной окраске речи говорящего (тембру его голоса), его душевному состоянию (спокоен, волнуется), нарочитой окраске речи (декламирует, говорит с подчеркнутой выразительностью, копирует голос другого) и т. п. В итоге речь, как считают, несет уже около 1 000 бит информации в секунду.

* * *

... полупроводниковые лазеры представляют собой преобразователи световой энергии непосредственно в электрическую. Коэффициент полезного действия такого преобразователя может быть очень близок к 100%.

* * *

... если луч лазера сфокусировать при помощи оптики, то можно будет получить такую плотность энергии в луче, которая в миллиарды раз превосходит концентрацию энергии той же частоты на поверхности Солнца.

* * *

... наиболее чувствительной и одновременно наделенной наибольшей разрешающей способностью локационной установкой из всех живых существ-локаторщиков обладает, по-видимому, дельфин. Он обнаруживает брошенную в воду дробинку на расстоянии до 20—30 *м*.

* * *

... скорость движения электронов в электронных лампах может достигать примерно 10 тыс. *км/сек*. В электронно-лучевых трубках она бывает в 4—5 раз больше, т. е. доходит примерно до 1/6 скорости света.

Наибольшую скорость электроны и другие элементарные частицы развивают в специальных ускорителях, где они характеризуются обычно числом электроновольт. В нашем большом синхрофазотроне частицы разгоняются до 10 млрд. ($10^{10}$) электроновольт. Строятся ускорители с числом электроновольт еще на порядок больше.

Но наибольшей энергией и, следовательно, скоростью обладают некоторые частицы в космических лучах. Их энергия доходит до $10^{18}$ электроновольт. Насколько огромна эта энергия, можно представить себе по такому примеру: если бы такой энергией обладал шарик весом 1 *г*, то при падении в Черное море он мгновенно «выпарил» бы всю его воду, т. е. превратил бы ее в пар.

Следует помнить, что в соответствии с законом относительности скорость частиц, даже с такой колоссальной энергией, меньше скорости света и что материальная частица, имеющая массу покоя, не может достигнуть скорости света. Такую скорость имеют только частицы, не имеющие массы покоя: фотоны, а также поля, например, электромагнитное.

При тех скоростях, которые приобретают электроны в радиоаппаратуре, можно не считаться с поправками, связанными с теорией относительности.

---

Читатель познакомился в этой книге со многими вопросами, относящимися к радиоэлектронике, среди которых видное место занимают проблемные вопросы, в ряде случаев имеющие лишь поисковый характер. Во всех очерках главное внимание уделялось раскрытию физических основ явления или работы устройства и теснейшей связи между радиоэлектроникой и другими областями науки и техники. Эти два аспекта играют теперь ведущую роль в научно-техническом прогрессе и если книга помогла читателю лучше уяснить это и приобрести привычку к такому подходу, то авторы будут считать свою задачу выполненой.

---

73 к.